

Janne Romo


RAKENTEIDEN JA TALOTEKNISTEN RATKAISUJEN VAIKUTUS PIENTALON E-LUKUUN JA OSTOENERGIAN TARPEESEEN

Opinnäytetyö
Talotekniikka


Toukokuu 2016



KUVAILULEHTI

		Opinnäytetyön päivämäärä 4.5.2016
Tekijä(t) Romo Janne		Koulutusohjelma ja suuntautuminen Talotekniikan koulutusohjelma
Nimeke Rakenteiden ja taloteknisten ratkaisujen vaikutus pientalon E-lukuun ja ostoenergiantarpeeseen		
Tiivistelmä <p>Vuodesta 2012 alkaen uudisrakennusten kokonaisenergiankulutukselle, E-luvulle, on annettu suurimmat sallitut arvot, jotka uudisrakennuksen tulee alittaa. Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia rakenteiden ja taloteknisten ratkaisujen vaikutusta rakennuksen E-lukuun ja ostoenergiantarpeeseen. Tutkittavia tekijöitä olivat rakennusvaipan rakenteet, rakennusvaipan ilmanvuotoluku, lämmitysenergian tuottotapa, lämmitysjärjestelmän mitoituslämpötilat, lämmöntalteenottojärjestelmän vuosihyötysuhde, ilmanvaihdon SFP-luku, mahdollinen aurinkosähkö tai -lämpö ja mahdollinen ilma-ilmalämpöpumppu.</p> <p>Opinnäytetyössä tutkittiin esimerkkikohteen avulla pientalon E-lukua. Rakennus mallinnettiin IDA ICE -simulointiohjelmalla, jonka avulla tutkittiin E-lukua erilaisilla rakenteilla ja taloteknisillä ratkaisuilla. Opinnäytetyössä on selvitetty yksittäisten tekijöiden vaikutusta sekä useiden tekijöiden yhteisvaikutusta E-lukuun.</p> <p>Tässä kohteessa rakenteista suurimmat vaikutukset ovat ulkoseinien, ikkunoiden lämmönläpäisykertoimilla ja rakennuksen ilmanvuotoluvulla, mikäli ilmanvuotolukua ei mitata. Taloteknisistä ratkaisuksista suurimmat vaikutukset ovat ilmanvaihdon lämmöntalteenoton energiatehokkuudella ja lämmöntuottojärjestelmällä. Uusiutuvalla omavaraisenergialla E-lukua on mahdollista pienentää paljon.</p> <p>Yksittäisillä muutoksilla voidaan saada huomattavia muutoksia pientalon E-lukuun, mutta jos halutaan saada pientalo energiatehokkuusluokkaan B, täytyy sekä rakenteiden että taloteknisten ratkaisujen olla energiatehokkaita. Energiatehokkuusluokkaan A ei ole mahdollista päästä käyttämättä uusiutuvaa omavaraisenergiaa.</p> <p>Energiatehokkuuden vaatimusten muuttuminen E-lukuvaatimukseksi mahdollistaa energiatehokkuuden parantamisen kustannustehokkaasti. E-luku voidaan saada halutun suuruiseksi monilla eri tavoilla, jolloin on mahdollista valita kussakin kohteessa halvimmat mahdolliset tavat pienentää E-lukua. Jokainen kohde on yksilöllinen, mutta tämän opinnäytetyön avulla on mahdollista saada suuntaa-antavia tuloksia eri ratkaisuille.</p>		
Asiasanat (avainsanat) E-luku, pientalo, energiatehokkuus, energiatodistus, ostoenergia, uudisrakennus		
Sivumäärä 51+12	Kieli Suomi	URN
Huomautus (huomautukset liitteistä)		
Ohjaavan opettajan nimi Mika Kuusela		Opinnäytetyön toimeksiantaja Mikkelin Ammattikorkeakoulu, Talotek-hanke

DESCRIPTION

 <div style="display: inline-block; vertical-align: middle;"> <div style="font-size: 2em; font-weight: bold; margin: 0;">MAMK</div> <div style="font-size: 0.8em; margin: 0;">University of Applied Sciences</div> </div>		Date of the bachelor's thesis 4.5.2016	
Author(s) Romo Janne		Degree programme and option Building services Engineering	
Name of the bachelor's thesis Effect of structures and building service solutions to E-value and need of purchase energy			
Abstract <p>Since 2012 total energy consumption, E-value, of new buildings had been given maximum values that have to be passed. The aim of this thesis was to investigate how structures and building service solutions effect to E-value and need of purchase energy. Investigated factors were building envelope components, air leakage rate q_{50}, heating energy production method, temperatures of heating system, properties of ventilation system, potential thermal electric or heating and possible air-air heat pump.</p> <p>E-value of the small house has been investigated in this thesis. The building has been simulated using IDA ICE, by which E-value has been investigated with different structures and building service solutions. In this thesis has been investigated individual and combined effects to E-value.</p> <p>U-values of windows, U-values of exterior walls and air leakage rate q_{50}, if not measured, have the biggest effects from structures in this building. From building service solutions energy efficiency of ventilations heat recovery and heating energy production method effects most. It is possible to reduce E-value using renewable self-produced energy.</p> <p>It is possible to get substantial changes to E-value with individual changes, but to reach energy efficiency class B both structures and building service solutions have to be energy efficient. To reach energy efficiency class A is not possible without using renewable self-produced energy.</p> <p>Changing requirements of energy efficiency requirements of E-value enables to improve energy efficiency cost-effectively. Now there are many ways to reach pursued E-value so it is possible to select the cheapest ways to reduce E-value. Each building is unique, but with this thesis you can get suggestive results to different solutions.</p>			
Subject headings, (keywords) E-value, small house, energy efficiency, energy certification, purchase energy, new building			
Pages 51+12		Language Finnish	
URN			
Remarks, notes on appendices			
Tutor Mika Kuusela		Bachelor's thesis assigned by Mikkeli University of Applied Sciences, Talotekhanke	

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	1
2	ENERGIATEHOKKUUDEN TEORIAA	2
2.1	E-luku	2
2.2	Energialaskennan lähtötiedot.....	3
2.3	Energiatehokkuuden vaatimukset.....	5
2.4	Matalaenergia-, passiivi-, lähes nollaenergia-, nollaenergia- ja plusenergiatalo	7
3	KOHDE JA SIMULOINTIOHJELMA	8
3.1	DEMOLAB-pientalon tiedot	8
3.2	Simulointiohjelma IDA ICE.....	9
4	TUTKITTAVAT TILANTEET	9
4.1	Perustilanne.....	10
4.2	Yksittäisten tekijöiden muuttaminen	10
4.2.1	Rakennusvaipan U-arvot ja ilmatiiviys.....	10
4.2.2	Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde ja puhaltimien ominaissähkötehot	12
4.2.3	Lämmöntuotto- ja jakotapa	13
4.2.4	Uusiutuva omavaraisenergia.....	14
4.2.5	Ilma-ilmalämpöpumppu.....	17
4.3	Useiden tekijöiden yhteisvaikutukset	18
4.3.1	Esimerkkitalanne 1	18
4.3.2	Esimerkkitalanne 2	19
4.3.3	Esimerkkitalanne 3	19
4.3.4	Esimerkkitalanne 4	20
5	E-LUKU JA OSTOENERGIANTARVE	21
5.1	Perustilanne.....	21
5.2	Yksittäisten tekijöiden muuttaminen	23
5.2.1	Rakennusvaipan U-arvot ja ilmetiiveys	23
5.2.2	Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde ja puhaltimien ominaissähkötehot	32
5.2.3	Lämmöntuotto- ja jakotapa	33
5.2.4	Uusiutuva omavaraisenergia.....	36

5.2.5	Ilmalämpöpumppu	37
5.3	Useiden tekijöiden yhteisvaikutukset	38
5.3.1	Esimerkkitalanne 1	39
5.3.2	Esimerkkitalanne 2	40
5.3.3	Esimerkkitalanne 3	41
5.3.4	Esimerkkitalanne 4	42
6	TULOSTEN TARKASTELU	43
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	44

LIITTEET

- 1 Rakennuksen sisäänsyöttötiedot perusmallissa
- 2 Pohja-, julkisivu- ja leikkauskuvia ja mallinäkymiä
- 3 Ulkoseinien, yläpohjan ja alapohjan rakenteet

1 JOHDANTO

Uudisrakentamisen energiatehokkuutta ohjataan Suomen rakentamismääräyskokoelman (RakMK) määräyksillä. Ensimmäiset määräykset uudisrakentamisen energiatehokkuudesta annettiin vuonna 1976 julkaistussa Suomen rakentamismääräyskokoelman osassa C3. Silloin yksittäisille rakennusosille annettiin vaatimukset, jotka niiden tuli täyttää. Ensimmäiset energiamääräykset olivat kansainvälisestikin edistyksellisiä. Vaatimuksia tiukennettiin vuosina 1978, 1985, 2003, 2007 ja 2010 päivitettyissä rakennusmääräyskokoelman osassa C3.

Uusimmat vaatimukset ovat 1.7.2012 voimaan tullessa RakMK D3 2012, jossa vaatimukset muuttuivat radikaalisti. Uusissa määräyksissä asetettiin vaatimukset rakennuksen E-luvulle yksittäisten rakennusosien vaatimusten sijasta. E-luku tarkoittaa rakennuksen kokonaisenergiankulutusta vuodessa lämmitettyä nettoalaa kohti. Eri energiamuodoilla on omat kertoimensa, jotka otetaan huomioon E-lukua laskettaessa. Uudistusta kutsutaan kokonaisenergiatarkasteluksi. Uudistus mahdollistaa sen, että energiavaatimukset voidaan täyttää eri keinoilla mahdollisimman kustannustehokkaasti. [1, s. 7 - 9.]

Opinnäytetyön tilaajana oli Mikkelin ammattikorkeakoulu. Mikkelin ammattikorkeakoulun tiloihin rakennetaan TALOTEK-hankkeessa pientalo DEMOLAB talotekniikan alan opiskelijoiden oppimisympäristöksi. Tavoitteena oli saada vastauksia siihen, millä tapaa eri rakenteet ja taloteknisen ratkaisut vaikuttavat pientalon E-lukuun ja määräysten standardikäytön mukaiseen ostoenergiantarpeeseen pientalossa.

Tässä opinnäytetyössä esimerkkikohteena on pientalo DEMOLAB, jonka E-lukua ja ostoenergiantarvetta tutkitaan. Rakennus simuloidaan dynaamisen simulointiohjelmiston IDA ICE:n avulla. Kohteesta luodaan perusmalli, jonka jälkeen rakenteita ja taloteknisiä ratkaisuja muutetaan.

Työssä tutkitaan yksittäisten tekijöiden vaikutusta pientalon E-lukuun ja ostoenergiantarpeeseen sekä eri tekijöiden yhteisvaikutuksia. Tutkittavia tekijöitä ovat:

- Rakennusvaipan U-arvot (lämmönläpäisykerroin)
- Ikkunoiden U-arvot ja g-arvot

- Rakennusvaipan ilmavuotoluku q_{50}
- Mahdolliset passiiviset aurinkosäteilyn suojauskeinot, kuten sälekaihtimet
- Lämmitysenergian tuottotapa
- Lattialämmityksen mitoituslämpötilat
- Uusiutuvat omavaraisenergiat (aurinkosähkö ja -lämpö)
- Mahdollinen ilma-ilmalämpöpumppu
- Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde
- Ilmanvaihtojärjestelmän puhaltimien sähkötehot.

E-luku ja ostoenergian tarve saadaan laskettua IDA ICE -ohjelmalla. Tuloksia vertaillaan keskenään sekä niitä analysoidaan energiamääräyksiin nähden. Tulosten havainnollistaminen tapahtuu Microsoft Excel -taulukkolaskentaohjelmalla laadituilla taulukoilla sekä kuvaajilla.

2 ENERGIATEHOKKUUDEN TEORIAA

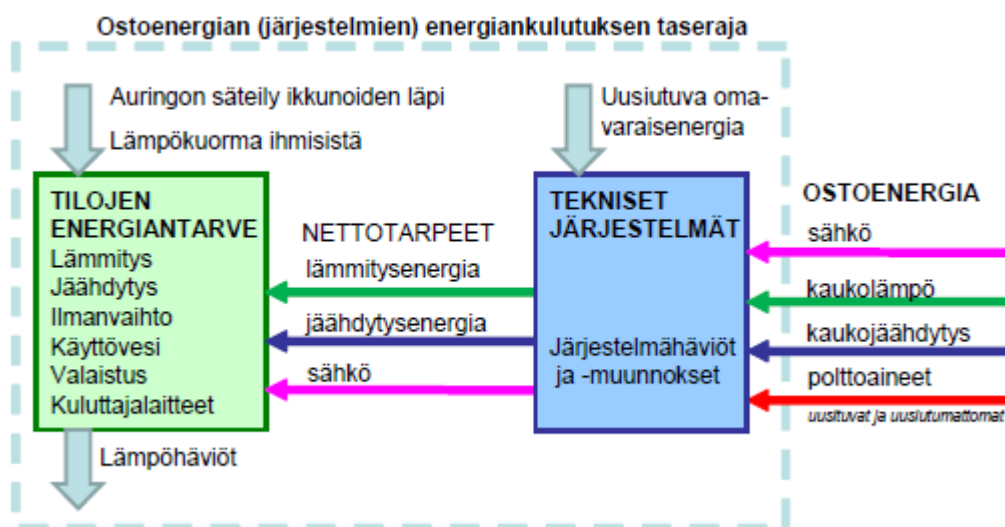
Tämä luku sisältää teoriaa E-luvusta, energialaskennan lähtötiedot ja energiatehokkuuden vaatimuksia. Lisäksi on kerrottu aikaisempien määräyksien mukaisista matalaenergia-, passiivi-, nollaenergia- ja plusenergiataloista sekä tulevasta lähes nollaenergiatalosta.

2.1 E-luku

Rakennuksen E-luku ($\text{kWh}_E/\text{m}^2, \text{a}$) on energiamuotokertoimilla painotettu vuosittainen standardikäytön mukainen ostoenergian kulutus. Rakennuksen standardikäytön mukaan laskettu ostoenergian kulutus koostuu sähkön, kaukolämmön ja/tai polttoaineen kulu-
tuksesta standardikäyttötilanteessa lämmitettyä nettoalaa kohden. Lämmitetty nettoala on kerrostasojen summa ulkoseinien sisäpintojen mukaan laskettuna [2, s.5]. E-lukua laskettaessa rakennuksen standardikäytön mukaan laskettu ostoenergian määrä kerrotaan energiamuotojen kertoimilla ja tulot lasketaan yhteen. Alla on esitetty nykyisten määräysten mukaiset energiamuotojen kertoimet. [2, s. 8.]

- sähkö 1,7
- kaukolämpö 0,7
- kaukojäähdytys 0,4
- fossiiliset polttoaineet 1,0
- rakennuksessa käytettävät uusiutuvat polttoaineet 0,5

Ostoenergian taserajana toimii tontin raja, jolloin kaikki tontin rajan yli tuotu energia (polttoaine, kaukolämpö, sähkö) on ostoenergiaa. Tontilla tuotettua uusiutuvaa omavaraisenergiaa, esimerkiksi aurinkosähköä, ei näin ollen lasketa ostoenergiaksi. Tämä kuitenkin sillä poikkeuksella, että polttoaine (puut) lasketaan ostoenergiaksi, vaikka se tulisi omalta tontilta. Standardikäytön lämpökuormat ja ikkunoiden läpi tuleva auringon lämpösäteily vähennetään tilojen nettolämmitysenergian tarpeesta. Kuva 1 havainnollistaa ostoenergian taserajaa. [1, s. 12–13.]



KUVA 1. Ostoenergiankulutuksen taseraja [2, s.6]

2.2 Energialaskennan lähtötiedot

Rakennuksen ostoenergiankulutus lasketaan RakMK osan D3 määräyksissä esitetystä rakennustyyppin standardikäyttötilanteesta. Näihin sisältyy ulkoilman säätiedot, sisäilmaston olosuhteet, rakennuksen ja sen järjestelmien käyttö- ja käyntiajat sekä sisäisten lämpökuormien lähtöarvot. Ostoenergiankulutusta ei siis lasketa rakennuksen todellisen käytön mukaisessa tilanteessa. Tällä tavalla rakennuksista saadaan vertailukelpoisia keskenään. Muut laskennassa tarvittavat lähtötiedot otetaan rakennuksen suunnitteluasiakirjoista. [2, s. 8.]

E-luvun laskenta ja kesäajan huonelämpötilan hallinnan tutkiminen tehdään RakMK osan D3 mukaisen säävyöhykkeen I säätiedoilla. Säävyöhykkeen I säätiedot pohjautuvat Helsinki-Vantaan lentoaseman säähavaintoaseman säädäntämittauksiin vuosilta 1980-2009 [2, s. 29]. Erilliset pientalot kuuluvat käyttötarkoitukseluokkaan 1, johon kuuluville rakennuksille ei tarvitse suorittaa kesäajan huonelämpötilan laskentaa [2, s. 10]. Erillisen pientalon sekä rivi- ja ketjutalon huonelämpötilan asetusarvot ja käyttöajan ulkoilmavirrat on esitetty alla.

- Lämmitysraja 21 °C
- Jäähdytysraja 27 °C
- Ulkoilmavirta 0,4 dm³/s,m²

Erillisissä pientaloissa sekä rivi- ja ketjutaloissa käyttöaika on 24 tuntia vuorokaudessa ja 7 päivää viikossa. Käyttöaste on 0,6, mikä tarkoittaa sitä, että laskennassa rakennuksen valaistusta ja kuluttajalaitteita käytetään 60 % käyttöajasta. Taulukossa 1 on esitetty rakennusten standardikäyttö sekä valaistuksen, kuluttajalaitteiden ja ihmisten aiheuttamat lämpökuormat lämmitettyä nettoalaa kohti. [2, s. 18-21]

TAULUKKO 1. Rakennusten standardikäyttö ja energialaskennassa käytettävät sisäiset lämpökuormat lämmitettyä nettoalaa kohti [2, s.19]

Käyttötarkoitukseluokka	Kellonaika ^d	Käyttöaika		Käyttöaste	Valaistus W/m ²	Kuluttajalaitteet W/m ²	Ihmiset ^a W/m ²
		h/24h	d/7d				
Erillinen pientalo sekä rivi- ja ketjutalo	00:00-24:00	24	7	0,6	8 ^{b,c}	3	2
Asuinkerrostalo	00:00-24:00	24	7	0,6	11 ^{b,c}	4	3
Toimistorakennus	07:00-18:00	11	5	0,65	12 ^c	12	5
Liikerakennus	08:00-21:00	13	6	1	19 ^c	1	2
Majoitusliikerakennus	00:00-24:00	24	7	0,3	14 ^c	4	4
Opetusrakennus ja päiväkot	08:00-16:00	8	5	0,6	18 ^c	8	14
Liikuntahalli	08:00-22:00	14	7	0,5	12 ^c	0	5
Sairaala	00:00-24:00	24	7	0,6	9 ^c	9	8

a ei sisällä kosteuteen sitoutunutta lämpöä, kokonaislämmönhuovutus saadaan jakamalla kertoimella 0,6

b asuinrakennusten valaistuksen käyttöaste on 0,1

c ohjearvo uudisrakennuksille ellei tarkempaa tietoa ole käytettävissä, pienempää valaistuksen tehoa voi käyttää, mikäli valaistustaso säilyy ja siitä esitetään erillisselvitys kohtien 3.3.3 ja 3.3.4 mukaisesti.

d ilmanvaihdon käyntiaika kohdan 3.3.7 mukaisesti

Rakennuksen ilmanvuotolukuna q₅₀ käytetään arvoa 4 m³/h,m², mikäli ilmanpitävyyttä ei osoiteta mittaamalla tai jollain muulla menettelyllä [2, s. 14]. Se on myös ilmanvuotoluvun suurin sallittu arvo, joka voidaan kuitenkin ylittää, mikäli ilmanpitävyyttä huonontavat oleellisesti rakennuksen käytön vaatimat rakenteelliset ratkaisut. [2, s. 9-10.]

Mikäli ei tehdä erillisiä laskelmia, 50 % lämpimän käyttöveden kierron ja varastoinnin lasketuista lämpöhäviöistä tulee tiloihin lämpökuormaksi. Lämpimän käyttöveden ominaiskulutus ja sen lämmittämiseen tarvittava lämmitysenergia nettoalaa kohti rakennusten käyttötarkoituksittain on esitetty taulukossa 2. [2, s. 20-21.]

TAULUKKO 2. Lämpimän käyttöveden ominaiskulutus ja sitä vastaava lämmitysenergian nettotarve lämmitettyä nettoalaa kohti [2, s.21]

Käyttötarkoituksiluokka	LKV:n ominaiskulutus $\text{dm}^3/(\text{m}^2 \text{ a})$	Lämmitysenergia $\text{kWh}/(\text{m}^2 \text{ a})$
Erillinen pientalo, rivi- ja ketjutalo, asuinkerrostalo	600	35
Toimistorakennus	103	6
Liikerakennus	68	4
Majoitusliikerakennus	685	40
Opetusrakennus ja päiväkot	188	11
Liikuntahalli	343	20
Sairaala	515	30

Erillisessä pientalossa lämpimän käyttöveden ominaiskulutus on $600 \text{ dm}^3/\text{m}^2\text{a}$. Lämmitysenergiaa tämän vesimäärän lämmittämiseen tarvitaan $35 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{a}$.

2.3 Energiatohokkuuden vaatimukset

Uudisrakennusten E-lukujen vaatimukset on jaettu rakennusluokittain. Pientalot kuuluvat luokkaan 1. Muissa luokissa E-luvulle on annettu vaatimukseksi yksi luku, mutta luokan 1 rakennuksilla vaatimus riippuu rakennuksen koosta. Taulukossa 3 on esitetty luokkaan 1 kuuluvien rakennusten E-luvun suurimmat sallitut arvot.

TAULUKKO 3. Uudisrakennuksen E-luvun suurimmat sallitut arvot [2, s.9]

Luokka 1	Erillinen pientalo, rivi- ja ketjutalo	Lämmitetty nettoala, A_{netto}	kWh/m^2 vuodessa
	Pientalo	$A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$	204
		$120 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$	$372 - 1,4 \cdot A_{\text{netto}}$
		$150 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$	$173 - 0,07 \cdot A_{\text{netto}}$
		$A_{\text{netto}} > 600 \text{ m}^2$	130
	Hirsitalo	$A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$	229
		$120 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 150 \text{ m}^2$	$397 - 1,4 \cdot A_{\text{netto}}$
		$150 \text{ m}^2 \leq A_{\text{netto}} \leq 600 \text{ m}^2$	$198 - 0,07 \cdot A_{\text{netto}}$
		$A_{\text{netto}} > 600 \text{ m}^2$	155
	Rivi- ja ketjutalo		150

Käyttötarkoitusluokkien 1 ja 9 rakennuksilta ei vaadita suoritettavaksi kesäajan huonelämpötilan laskentaa, mutta käyttötarkoitusluokkiin 2-8 kuuluvien rakennuksien kesäajan huonelämpötilaa on tutkittava. Kesäajan huonelämpötilan ylälämpenemistä on rajoitettu siten, että kesäkuun 1. päivän ja elokuun 31. päivän välisellä ajanjaksolla huonelämpötila ei saa energialaskennan lähtöarvoilla laskettaessa ylittää jäähdytysrajaa enemmän kuin 150 astetuntia. [2, s. 9-10.]

Vaikka energiavaatimukset muuttuivatkin E-lukua koskevaksi, yksittäisille rakennusosille on annettu suurimmat sallitut lämmönläpäisykertoimet. Rakennuksen ulkoseinän, yläpohjan ja alapohjan tai puolilämpimään tilaan rajoittavan rakennusosan lämmönläpäisykerroin saa olla korkeintaan $0,60 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Ikkunan, oven tai umpinaisen savunpoisto- ja uloskäyntiluukun lämmönläpäisykerroin saa olla lämpimässä tilassa korkeintaan $1,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ja puolilämpimässä tilassa $2,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Kattovalokuvun ja kupumallisen savunpoistokattoikkunan lämmönläpäisykerroin saa olla lämpimässä tilassa korkeintaan $2,0 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ja puolilämpimässä tilassa $2,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Jäähdytettävillä tiloilla seinän ja välipohjan lämmönläpäisykerroin saa olla korkeintaan $0,27 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ ja oven enintään $1,4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. [2, s.11.]

Rakennuksen vaipan, vuotoilman ja ilmanvaihdon lämpöhäviöitä on rajoitettu siten, että lämpöhäviöiden tulee olla pienemmät kuin määräyksissä esitetyillä vertailuarvoilla laskettaessa. Taulukossa 4 on esitetty vertailulämpöhäviön laskennassa käytettävät U-arvot. Vertailulämpöhäviöitä laskettaessa ikkunapinta-alana ei käytetä todellista pinta-alaa, vaan vertailuarvona käytetään 15 % rakennuksen kokonaan tai osittain maanpäällisten kerrosten kerrostasoalojen summasta, kuitenkin korkeintaan 50 % rakennuksen julkisivupinta-alasta. Vertailulämpöhäviöitä laskettaessa rakennusvaipan ilmanvuotoluku q_{50} käytetään arvoa $2,0 \text{ m}^3/\text{h}, \text{m}^2$. Poistoilman lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena käytetään arvoa 45 %. [2, s. 12-15.]

TAULUKKO 4. Vertailulämmönläpäisykertoimet

Rakennusosa	U-arvo, W/(m ² K)	
	Lämmin tila	Puolilämmin tila
seinä	0,17	0,26
hirsiseinä	0,40	0,60
yläpohja ja ulkoilmaan rajoittuva alapohja	0,09	0,14
ryömintätilaan rajoittuva alapohja	0,17	0,26
maata vasten oleva rakennusosa	0,16	0,24
ikkuna, kattoikkuna, ovi, kattovalokupu, savunpoisto- ja uloskäyntiluukku	1,0	1,4

2.4 Matalaenergia-, passiivi-, lähes nollaenergia-, nollaenergia- ja plusenergiatalo

Uudisrakennusten energiatehokkuuden vaatimukset esitettiin aiemmassa kappaleessa. Voimassa olevissa rakentamismääräyksissä ei ole määritelmiä rakennuksille, jotka ovat vaatimuksia energiatehokkaampia. Vaatimuksia energiatehokkaammat rakennukset voidaan jaotella matalaenergia-, passiivi-, lähes nollaenergia-, nollaenergia- ja plustaloihin. Matalaenergiatalolle ei ole nykyisissä rakentamismääräyksissä määritelmää, mutta vuoden 2010 RakMK osassa D3 olevan määrittelyn mukaan laskennalliset lämpöhäviöt saavat olla korkeintaan 85 % vertailulämpöhäviöistä. [3.]

Passiivitalo kuluttaa lämmitysenergiaa selvästi matalaenergiataloa vähemmän. Suomessa sijaitsevaksi passiivitaloksi voidaan määritellä rakennukset, jotka täyttävät alla olevat kolme kriteeriä. On huomioitavaa, että passiivitalomääritelmässä käytetään lämmitettävää bruttoalaa pinta-alana. [4.]

Nollaenergiataloksi luokitellaan talo, joka vuosisatasolla tuottaa energiaa yhtä paljon kuin se kuluttaa huonetilojen ja käyttöveden lämmittämiseen sekä valaistukseen ja laitteisiin. Plusenergiataloksi luokitellaan talo, joka vuosisatasolla tuottaa enemmän energiaa kuin se kuluttaa. Plusenergiatalossa on oltava mahdollisuus myydä ylijäämäsähkö valtakunnanverkkoon. Näissä molemmissa ratkaisuissa lämmitysenergiantarpeet ovat pienempiä kuin passiivitaloissa. [4.]

- Huonetilojen lämmitysenergiatarve
 - Etelä-Suomen rannikko $\leq 20 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$
 - Keski-Suomi $\leq 25 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$
 - Pohjois-Suomi $\leq 30 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$
- Kokonaisprimäärienergiatarve:
 - Etelä-Suomen rannikko $\leq 130 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$
 - Keski-Suomi $\leq 135 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$
 - Pohjois-Suomi $\leq 140 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$
- Ilmanvuotoluku $n_{50} \leq 0,6 \text{ l/h}$

EU-maissa uudisrakennuksien perusratkaisuna tulee olla lähes nollaenergiatalo julkisissa uudisrakennuksissa vuoden 2019 alusta alkaen ja kaikissa uudisrakennuksissa vuodesta 2021 alkaen vuonna 2010 julkaistun energiatehokkuusdirektiivin mukaan. Lähes nollaenergiatalolla tarkoitetaan kustannusoptimin kautta saatavaa minimienergiataloa, jonka kuluttamasta energiasta suuri osa on rakennuksessa tai sen lähistöllä tuotettua uudisenergiaa. Kustannusoptimilla tarkoitetaan sitä, että rakennuksen elinkaarikustannuksissa säästetään mahdollisimman paljon ilman investointikustannuksien kohtuutonta kasvamista. Direktiivissä ei ole annettu tarkkoja vaatimuksia lähes nollaenergiatasolle, vaan jäsenmaat määrittelevät vaatimukset itse. [5, s. 8-9.] Tämän tutkimuksen aikaan Suomessa on esitetty luonnokset lähes nollaenergiarakentamisen lainsäädännöstä ja ohjeista, ja ne ovat lausuntokierroksella [6]. Tässä opinnäytetyössä ei tutkita tulevia lähes nollaenergiarakentamisen vaatimuksia.

3 KOHDE JA SIMULOINTIOHJELMA

Tässä luvussa esitetään esimerkkikohteena toimivan DEMOLAB-pientalon lähtötiedot ja tiedot simulointiohjelmasta IDA ICE, jolla E-luku lasketaan.

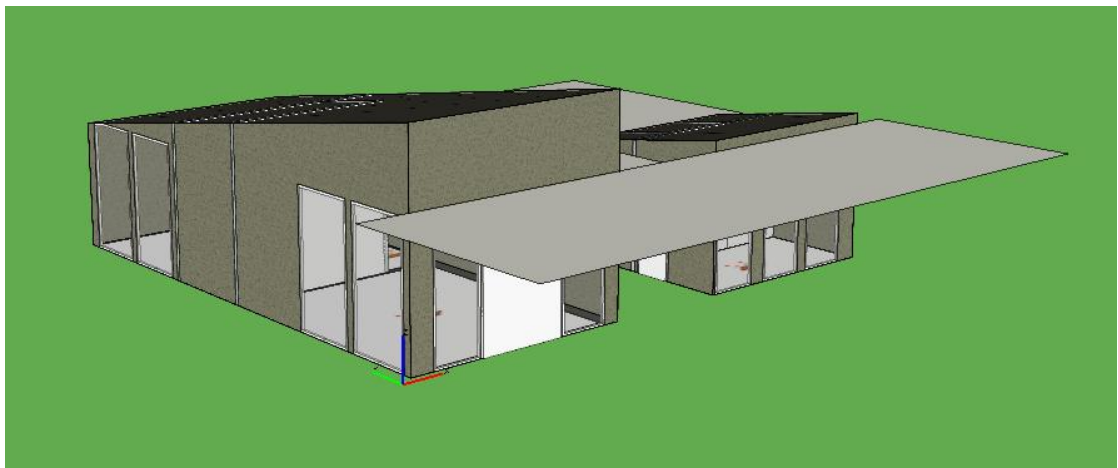
3.1 DEMOLAB-pientalon tiedot

Tutkittavana kohteena on Mikkelin ammattikorkeakoululle opetuskäyttöön rakennettava DEMOLAB-pientalo. Kohteen lattiapinta-ala, eli lämmitetty nettoala, on 92 m^2 . Taulukosta 3 katsomalla suurimmaksi sallituksi E-luvuksi saadaan $204 \text{ kWh/m}^2 \text{ a}$, sillä lämmitetty nettoala on alle 120 m^2 . Rakennusvaipan eri osien pinta-alat ja kylmäsiltojen

pituudet ovat nähtävillä liitteessä 1. Rakennuksen tilavuus on $355,2 \text{ m}^3$. Rakennusvai-
pan pinta-alat, kylmäsiltojen pituudet ja rakennuksen tilavuus on saatu IDA ICE-
ohjelman avulla. Liitteessä 2 on rakennuksen pohjakuva, leikkauskuvia, julkisivukuvia
sekä kolmiulotteisia mallinäkymiä.

3.2 Simulointiohjelma IDA ICE

Rakennus simuloidaan dynaamisen simulointiohjelmiston IDA Indoor Climate and
Energyn, eli IDA ICEn, avulla. Ohjelmalla voidaan mallintaa tutkittavasta rakennuk-
sesta kolmiulotteinen malli, johon voidaan lisätä käytössä olevat tekniset järjestelmät ja
säätölaitteet. Kuvassa 2 on mallinäkymä tässä työssä simuloidusta pientalosta. IDA ICE
laskee mallinnetun rakennuksen vuosittaisen standardikäyttöisen ostoenergiankulutuk-
sen ja E-luvun. [7.]



KUVA 2. Tutkittava rakennus IDA ICE:ssä lounaasta päin katsottuna

Kuvasta 2 nähdään, että etelä- ja länsiseinillä on runsaasti ikkunapinta-alaa. Rakennuk-
sesta on eteläpuolella katos, joka estää osittain auringonsäteiden pääsemistä rakennuk-
sen sisälle.

4 TUTKITTAVAT TILANTEET

Tutkittavat tekijät, joiden vaikutusta rakennuksen ostoenergiankulutukseen ja E-lukuun
tutkitaan, esitellään tässä luvussa. Luvussa kerrotaan eri tekijöiden tutkittavat arvot ja
ratkaisut sekä perustellaan, miksi kyseisiin valintoihin on päädytty.

4.1 Perustilanne

Perustilanteessa ilmanvuotolukuna käytetään lämpöhäviöiden tasauslaskennassa käytettävää vertailuarvoa $2,0 \text{ m}^3/\text{h},\text{m}^2$. Rakennusvaipan U-arvoina käytetään vertailulämmönläpäisykertoimia. Rakennusvaipan U-arvot on kuvattu taulukossa 7. Perusmallissa alapohjan pintamateriaalina on käytetty Linoleumimattoja, jonka paksuus on 2,5 mm, lämmönjohtavuus $0,17 \text{ W/m},\text{K}$, tiheys 1200 kg/m ja ominaislämpökapasiteetti $1400 \text{ J/kg},\text{K}$. Lattian pintamateriaali ja sen ominaisuudet vaikuttavat lattian lämmönjak ominaisuuksiin ja tämän vuoksi myös ostoenergiantarpeeseen ja E-lukuun.

TAULUKKO 7. Perusmallin lämmönläpäisykertoimet

Rakennusosa	U-arvo, $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$	Huom.
Ulkoseinä	0,17	
Sisäseinä	0,54	
Yläpohja	0,09	
Alapohja (maanvarainen)	0,16	
Ikkunat	1,0	g-arvo = 0,55
Ovet	1,0	

Perusmallissa lämmöntuottojärjestelmänä käytetään kaukolämmitystä. Lämmönjakojärjestelmänä on lattialämmitys mitoituslämpötiloilla $35/30 \text{ }^\circ\text{C}$. Lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena käytetään arvoa 45 %, jota käytetään vertailulämpöhäviöitä laskettaessa. [2, s. 15].

4.2 Yksittäisten tekijöiden muuttaminen

Tässä kappaleessa kerrotaan, minkä eri tekijöiden vaikutuksia tutkittavassa kohteessa tutkitaan. Lisäksi kerrotaan, millä tavoin ne vaikuttavat ostoenergianmäärään ja E-lukuun.

4.2.1 Rakennusvaipan U-arvot ja ilmatiiviys

Rakennuksen tilojen lämmitysenergian tarve koostuu johtumislämpöhäviöistä, vuotoilman lämpenemiseen kuluva energiasta ja tuloilman lämpenemiseen kuluva energiasta. Ilmavirrat ja tuloilman sisäänpuhalluslämpötila pysyvät samana kaikissa tilanteissa, joten E-luvun laskennassa tuloilman lämpenemiseen sisäänpuhalluslämpötilasta

huonelämpötilaan kuluva energia pysyy samana kaikissa tilanteissa. Rakennusvaipan johtumislämpöhäviöt koostuvat rakennusosien läpi johtuvasta lämpöenergiasta. Johtumislämpöhäviöihin vaikuttaa kylmäsiilat sekä rakennusosien pinta-alat ja U-arvot, eli lämmönläpäisykertoimet, joita tässä työssä tutkitaan. [8, s. 15-16]. Vuotoilman lämpenemiseen tarvittavaan energiaan vaikuttaa vuotoilmavirran suuruus, eli kuinka tiivis rakennus on. Rakennuksen tiiviyttä kuvataan rakennusvaipan ilmanvuotoluvulla q_{50} , joka kertoo vuotoilmamäärän (m^3/h) rakennuksen ulkovaipan pinta-alaa (m^2) kohti paineeron rakennusvaipan yli ollessa 50 Pa. Ilmanvuotoluvun yksikkö on $m^3/h, m^2$. [9, s. 3.]

Rakennusvaipan U-arvoille on annettu suuntaa antavia ohjearvoja matalaenergia-, passiivi- ja nollaenergiataloille [3; 10]. Näiden arvojen perusteella on valittu työssä käytettävät rakennusvaipan U-arvot. Ulkoseinien, yläpohjan ja alapohjan rakenteet perustilanteessa on esitetty liitteessä 3. Muissa malleissa rakenteet pysyvät muuten samoina, mutta eristepaksuus muuttuu. Rakennusvaipan rakenteita muutetaan siten, että niiden U-arvot vastaavat näitä arvoja. Jokaisen eri vaipan osan vaikutusta ostoenergian tarpeeseen ja E-lukuun tutkitaan erikseen, ja lopuksi tutkitaan eri mallien yhteisvaikutuksia. Taulukossa 8 on esitetty tutkittavat lämmönläpäisykertoimet eri rakennusvaipan osille ja rakennusvaipan ilmanvuotoluvut.

TAULUKKO 8. Tutkittavat lämmönläpäisykertoimet ja rakennusvaipan ilmanvuotoluvut

	U-arvo, $W/(m^2, K)$			
Rakennusosa	Perusmalli	Matalaenergia	Passiivi	Nollaenergia
Ulkoseinä	0.17	0.12	0.09	0.08
Yläpohja	0.09	0.08	0.07	0.06
Alapohja	0.16	0.12	0.1	0.07
Ikkunat	1.0 (g=0.55)	0.8 (g=0.54)	0.7 (g=0.51)	0.5 (g=0.47)
Ovet	1.0	0.8	0.7	0.4
q_{50}	$2.0 m^3/h, m^2$	$1.0 m^3/h, m^2$	$0.7 m^3/h, m^2$	$0.4 m^3/h, m^2$

Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} keskiarvo on uusissa 1-kerroksissa pientaloissa $1,0 m^3/h, m^2$, joten se on yksi tutkittavista arvoista ja sitä käytetään matalaenergiatalon mallissa. Lähes 10 % uusista pientaloista ilmanvuotoluku on $0...0,4 m^3/h, m^2$. Tämän vuoksi toisena tutkittavana arvona käytetään arvoa $0,4 m^3/h, m^2$. Tätä arvoa käytetään nollaenergiatalon mallissa. Kolmantena arvona käytetään niiden väliltä arvoa $0,7 m^3/h, m^2$. [11, s. 6-8.] Tätä arvoa käytetään passiivitalon mallissa, vaikka se ei todelli-

suudessa toteuta passiivitalon kriteeriä. Rakennusvaipan ilmanvuotolukuna suurin sallittu arvo normaaleissa tapauksissa on $4,0 \text{ m}^3/\text{h},\text{m}^2$, joten se on viimeinen tutkittava arvo. Arvoa $4,0 \text{ m}^3/\text{h},\text{m}^2$ käytetään E-luvun laskennassa tilanteissa, joissa rakennuksen ilmapitävyyttä ei mitata tai osoiteta muulla tapaa. [2, s. 10.]

4.2.2 Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde ja puhaltimien ominaissähkötehot

Perustilanteessa lämmöntalteenoton vuosihyötysuhteena käytetään arvoa 45 %. D5:ssä on annettu lämmöntalteenoton lämmönsiirtimen tuloilman lämpötilasuhteelle η_t arvoja yhtä suurilla tulo- ja poistoilmavirroilla, joita voidaan käyttää, jos käytettävissä ei ole valmistajan ilmoittamaa varmennettua hyötysuhdetta. Lisäksi on annettu ohjearvoja jäteilman minimilämpötiloille, mikäli saatavilla ei ole varmennettuja suoritusarvoja. [8, s. 20.]

Tässä työssä tutkitaan D5 mukaisten lämpötilasuhteiden ja jäteilman minimilämpötilojen vaikutusta ostoenergiankulutukseen ja E-lukuun. Lisäksi vertaillaan yhden todellisen ilmanvaihtokoneen lämmöntalteenoton lämpötilasuhteen ja jäteilman minimilämpötilan vaikutusta. Tutkittaviksi ilmanvaihtokoneeksi on valittu Vallox 96 MC, jonka jäteilman minimilämpötila on $-5,6 \text{ C}$ ja tuloilman lämpötilahyötysuhde on 78,6 % [11]. Tutkittavat tilanteet on koottu taulukkoon 9.

TAULUKKO 9. Tutkittavat LTO:n hyötysuhteet ja jäteilman minimilämpötilat

Lämmösiirrin	Lämpötilasuhte ₁₎	Jäteilman min. lämpötila °C	Vuosihyötysuhde ₁₎
Perusmalli	0,452	5	45,0%
Ristivirta	0,5	5	49,4%
Vastaristivirta	0,6	5	57,6%
Regeneratiivinen	0,65	0	64,2%
Vallox 96 MC	0,786	-5,6	78,0%

1) Poisto- ja tuloilmavirrat yhtä suuret

Puhaltimien SFP-luku perusmallissa on $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Muut tutkittavat arvot ovat $1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ ja $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$.

4.2.3 Lämmöntuotto- ja jakotapa

Lämmönjakotapana toimii kaikissa tilanteissa vesikiertoinen lattialämmitys. Lattialämmitys on nykypäivänä yleisin lämmönjakotapa. Lattialämmityksen suosioon on monia syitä. Lämmitysjärjestelmä saadaan katseilta piiloon, koska erillisiä lämmönluovuttimia ei tarvita. Huoneet lämpenevät tasaisesti lattiasta kattoon, joka mahdollistaa matalammat huonelämpötilat. Lämpimät lattiat tuntuvat miellyttäviltä paljaissa jaloissa. Suuret lämmönjakopinta-alat mahdollistavat matalammat lämpötilat lämmönjakojärjestelmässä. [12.]

Lattialämmityksellä lämmönjaon ja –luovutuksen vuosihyötysuhteena käytetään arvoa 0,80 ja apulaitteiden sähköenergiankulutuksena arvoa 2,5 kWh/m²,a. Arvot ovat RakMK osan D5 mukaiset ohjearvot [8, s. 40]. Perustilanteessa mitoituslämpötilat ovat 35/30 °C. Tilannetta tutkitaan myös mitoituslämpötiloilla 40/30 °C ja 30/25 °C. Kaukolämmityksen ohjeiden mukaan lattialämmityksessä korkein sallittu menoveden lämpötila on 35 °C [13, s. 8], mutta tässä työssä tutkitaan mitoituslämpötiloja 40/30 °C myös kaukolämmöllä.

Lämmöntuottotavan vaikutukset ostoenergiantarpeeseen ja E-lukuun perustuvat lämmöntuotannon hyötysuhteeseen, sähkönkulutukseen sekä energiamuotokertoimeen. Perustilanteessa lämmöntuottojärjestelmänä toimii kaukolämpö, jonka energiamuotokerroin on 0,7. Kaukolämmössä lämmöntuoton vuosihyötysuhteena käytetään arvoa 0,94 ja apulaitteiden sähkönkulutuksena arvoa 0,60 kWh/a m². Arvot ovat RakMK osan D5 mukaiset ohjearvot. [8, s. 44.]

Toinen tutkittava lämmöntuottojärjestelmänä on maalämpöpumppu. Lämpöpumpun avulla tuotetun vuosittaisen lämmitysenergian ja lämpöpumpun ja sen apulaitteiden kuluttaman sähköenergian suhdetta kutsutaan SPF-luvuksi eli kausisuorituskykykertomeksi [14, s. 4]. Taulukossa 10 on esitetty käytettävät SPF-luvut eri mitoituslämpötiloilla. SPF-lukuina käytetään RakMK osan D5 mukaisia ohjearvoja vuotuisen keruupiirin paluunesteen keskilämpötilalla +3 °C. Maksimilämpötilan ollessa 35 °C SPF-luku interpoloidaan ja arvoksi saadaan 3,3. [8, s. 50].

TAULUKKO 10. Maalämpöpumppujen SPF-lukuja [8, s. 50]

	SPF-luku, vuotuinen paluunesteen keskilämpötila +3 °C	
Korkein lämpötila	Tilojen lämmitys	Käyttöveden lämmitys
30 °C	3,5	
35 °C	3,3	
40 °C	3,1	
60 °C		2,3

Maalämpöpumppu on mitoitettu kaikilla lämpötiloilla täystehon mukaan. Tämä tarkoittaa sitä, ettei muuta lämmitysjärjestelmää tarvita rinnalle, vaan maalämpöpumppu tuottaa tarvittavan lämmitysenergian myös vuoden kylmimpinä päivinä. Maalämpöpumpun ollessa lämmöntuottojärjestelmänä tarvitaan käyttöön lämminvesivaraaja, joka aiheuttaa lämpöhäviöitä. Puolet lämpöhäviöistä tulee laskea lämpökuormiksi tiloihin. 300 litran varaajalla, jossa on 40 mm eriste päällä, lämpimän käyttöveden varastoinnin vuotuisena lämpöhäviönä käytetään RakMK osan D5 mukaista arvoa 1300 kWh/a [8, s. 42].

Kolmas tutkittava lämmöntuottojärjestelmä on pellettilämmitys. Pelletit ovat pieniä sahajauhoista, kuuterinpurusta ja hiontapölystä puristettuja sylinterin muotoisia paloja, joita poltetaan kattilassa. Kattilassa kiertää vesi, joka lämmittää lämminvesivaraajassa olevaa vettä. Pelletit tarvitsevat erillisen varaston, josta ne siirretään kattilassa olevalle polttimelle siirtoruuvien avulla. [15.] Pelletti on uusiutuvaa polttoainetta, joten sen energiamuotokerroin on 0,5. Pellettikattilan, johon on integroitu lämminvesivaraaja, vuosihyötysuhteena käytetään RakMK osan D5 mukaista ohjearvoa 0,75 ja sähkön vuosittaisena kulutuksena arvoa 0,77 kWh/a m². [8, s. 44.]

4.2.4 Uusiutuva omavaraisenergia

Uusiutuva omavaraisenergia on uusiutuvista energialähteistä kiinteistöön kuuluvalla laitteistoilla tuotettua uusiutuvaa energiaa. Uusiutuvat polttoaineet eivät kuitenkaan ole uusiutuvaa omavaraisenergiaa. Esimerkiksi aurinkosähkö ja -lämpö sekä paikallisesti tuotettu tuulisähkö ovat uusiutuvaa omavaraisenergiaa. Uusiutuvalla omavaraisenergialla on mahdollista saada pienennettyä rakennuksen vuosittaista ostoenergian tarvetta ja E-lukua. Uusiutuva omavaraisenergia vähennetään kuvan 1 mukaisesti rakennuksen ostoenergian tarpeesta. Tässä työssä tutkitaan aurinkosähkön ja -lämmön vaikutusta rakennuksen ostoenergian tarpeeseen ja E-lukuun. [1, s. 7.]

Aurinkosähköjärjestelmän tuottama sähköenergia lasketaan RakMK osan D5 mukaisella menetelmällä, joka noudattaa standardin SFS EN 15316-4-6 menettelytapaa. Aurinkopaketiksi valitaan Areva Solarin aurinkopaketti 4,77 kWp [16]. Aurinkopaneelien pinta-ala on noin 29 m². Alla esitetyt kaavat ovat RakMK osasta D5. Aurinkosähkökennojen tuottama sähköenergia vuodessa lasketaan kaavalla 1 [8, s. 66]:

$$W_{pv} = \frac{G_{aur} * P_{maks} * F_{käyttö}}{I_{ref}} \quad (1)$$

jossa

W_{pv}	aurinkosähkökennojen tuottama sähköenergia vuodessa, kWh/a
G_{aur}	kennostoon kohdistuva auringon säteilyn energia vuoden aikana, kWh/m ²
P_{maks}	aurinkosähkökennojen tuottama suurin sähköteho, jonka kennosto tuottaa referenssisäteilytilanteessa ($I_{ref} = 1 \text{ kW/m}^2$, referenssilämpötilassa 25 °C), kW
$F_{käyttö}$	käyttötilanteen toimivuuskerroin, -
I_{ref}	referenssisäteilytilanne, 1 kW/m ² .

Kennostoon kohdistuva auringon säteilyn energia vuoden aikana lasketaan kaavalla 2 [8, s. 66]:

$$G_{aur} = G_{aur,hor} * F_{asento} \quad (2)$$

jossa

G_{aur}	kennostoon kohdistuva auringon säteilyn energia vuoden aikana, kWh/m ²
$G_{aur,hor}$	vaakatasolle osuvan auringon säteilyn kokonaisenergian määrä vuodessa kWh/m ²
F_{asento}	aurinkosähkökennon ilmansuunnan ja kallistuskulman mukainen korjauskerroin, joka lasketaan kaavalla 3 [8, s. 67]

$$F_{asento} = F_1 * F_2 \quad (3)$$

jossa

F_1	ilmansuunnan mukainen kerroin
-------	-------------------------------

F_2 kallistuksen mukainen kerroin.

Aurinkosähkökennojen tuottama suurin sähköteho referenssitilanteessa lasketaan kaavalla 4 [8, s. 67]:

$$P_{maks} = K_{maks} * A_{kenno} \quad (4)$$

jossa

K_{maks} huipputehokerroin, joka riippuu aurinkosähkökennon tyypistä, kW/m²

A_{kenno} aurinkosähkökennon pinta-ala (ilman kehystä), m².

Käyttötilanteen toimivuuskerroin $F_{käyttö}$ on tuulettamattomalla moduulilla 0,70 [8, s. 68]. Vaakatasolle osuvan auringon säteilyn kokonaisenergian määrä vuodessa $G_{aur,hor}$ on 975 kWh/m² h [1, s. 67]. Ilmansuunnan mukainen kerroin F_1 on 0,8 ja kallistuksen mukainen kerroin F_2 on 1,0, sillä paneelit asennetaan länteen päin alle 30° kulmaan [8, s. 67]. Huipputehokerroin K_{maks} on piipohjaisilla monikiteisillä kennoilla 0,10 - 0,16 kW/m², joten tässä käytetään kertoimena keskiarvoa 0,13 kW/m² [8, s. 68].

Ylläolevilla arvoilla aurinkosähkökennojen tuottamaksi sähköenergiaksi vuodessa saadaan noin 2058 kWh/a. Tällä tapaa tuotetun aurinkosähkön vaikutusta tutkitaan rakennuksen ostoenergiantarpeeseen ja E-lukuun. Vaikutusta tutkitaan kaikilla eri lämmön- tuottojärjestelmillä.

Käyttöveden lämmitystä aurinkokeräimellä on tutkittu laskemalla aurinkoenergialla tuotettu energia lämpimään käyttöveteen RakMK osan D5 mukaisesti. Käyttämällä D5 mukaisia arvoja aurinkoenergian osuus käyttöveden lämmitysenergiasta saa olla korkeintaan 40 %. Lämpimän käyttöveden nettotarve neliometriä kohti on 35 kWh/m²,a ja käyttöveden jaon hyötysuhde 0,92. 40 % käyttöveden lämmitysenergiasta on

$$0,40 * 35 \text{ kWh/m}^2, \text{a} * 92 \text{ m}^2 / 0,92 = 1400 \text{ kWh/a.}$$

Aurinkokeräimellä tuotettu energia lämpimään käyttöveteen lasketaan kaavalla 5 [8, s. 46]:

$$Q_{aurinko, lkv} = q_{aurinkokeräin} * A_{aurinkokeräin} * k_{aurinkokeräin} \quad (5)$$

jossa

$Q_{aurinko, lkv}$	aurinkokeräimellä tuotettu energia lämpimään käyttöveteen, kWh/a
$q_{aurinkokeräin}$	aurinkokeräimen energiantuotto käyttöveteen keräinpinta-alaa kohti, kWh/(m ² a)
$A_{aurinkokeräin}$	aurinkokeräimen pinta-ala, m ²
$k_{aurinkokeräin}$	aurinkokeräimen suuntauksen huomioon ottava kerroin, -.

Aurinkokeräimen energiantuotto käyttöveteen keräinpinta-alaa kohti $q_{aurinkokeräin}$ on 156 kWh/m²,a [8, s. 46]. Aurinkokeräimen suuntauksen huomioon ottava kerroin $k_{aurinkokeräin}$ on 0,8 [8, s. 46]. Aurinkokeräimien pinta-alalla 14 m² saavutetaan noin vuosittaiseksi aurinkokeräimillä tuotetuksi energiaksi noin 1400 kWh/a. Aurinkolämpöjärjestelmän sähköenergiankulutus saadaan laskettua kaavalla 6 [8, s. 46]:

$$W_{aurinko, pumpu} = \sum (P_{pumpu, i} * t_{pumpu, i}) / 1000 \quad (6)$$

jossa

$W_{aurinko, pumpu}$	aurinkolämpöjärjestelmän pumppujen sähköenergiankulutus, kWh/a
$P_{pumpu, i}$	yksittäisen pumpun i teho, W
$t_{pumpu, i}$	pumpun i käyttöaika, h.

Yksittäisen pumpun teho on D5 mukaisesti laskettuna $50 \text{ W} + 5 \text{ W/m}^2 * 14 \text{ m}^2 = 120 \text{ W}$ [8, s. 46]. Pumpun käyttöaikana käytetään arvoa 2000 h/a, jos tarkempaa tietoa ei ole käytettävissä [8, s. 47]. Aurinkojärjestelmän pumppujen sähköenergiankulutukseksi tulee näillä arvoilla laskettuna 240 kWh/a. Aurinkolämpöjärjestelmän vaikutusta tutkitaan kaikilla eri lämmöntuottojärjestelmillä.

4.2.5 Ilma-ilmalämpöpumppu

Rakennuksessa voi olla lisälämmityksenä ilma-ilmalämpöpumppu. Ilma-ilmalämpöpumpun tuottamaksi lämmitysenergiaksi voidaan laskea vuodessa korkeintaan 1000 kWh [2, s.23]. Ilma-ilmalämpöpumpun SPF-lukuna käytetään arvoa 2,8, jota voidaan RakMK osan D5 mukaan käyttää, mikäli tiedossa ei ole tarkempaa arvoa [8, s. 50].

ilma-ilmalämpöpumppua käytettäessä rakennuksen tilojen nettolämmitystarve pienenee 1000 kWh/a. Ilma-ilmalämpöpumpun vaikutusta tutkitaan kaikilla eri lämmöntuottojärjestelmillä.

4.3 Useiden tekijöiden yhteisvaikutukset

Tässä kappaleessa tutkitaan eri tekijöiden yhteisvaikutuksia rakennuksen ostoenergiankulutukseen ja E-lukuun. Yksittäisistä tutkittavista tekijöistä on yhdistelty viisi erilaista esimerkkitilannetta. Näiden esimerkkitilanteiden ostoenergiankulutusta ja E-lukua tutkitaan.

4.3.1 Esimerkkitilanne 1

Esimerkkitilanteessa 1 rakennusvaipan U-arvot ovat aikaisemmin käytettyjä ”matala-energiatalon” U-arvoja vastaavat. Rakennusvaipan ilmanvuotolukuna q_{50} käytetään arvoa $1,0 \text{ m}^3/\text{h},\text{m}^2$. Lämmöntalteenottojärjestelmänä on regeneratiivinen lämmöntalteenotto laite. Ilmanvaihtokoneen SFP-lukuna on arvo $2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Lämmöntuotantojärjestelmänä on kaukolämpö. Lämmönjakojärjestelmänä on vesikiertoinen lattialämmitys mitoituslämpötiloilla $35/30 \text{ }^\circ\text{C}$. Taulukossa 11 on koottu lähtötiedot selkeyden vuoksi.

TAULUKKO 11. Esimerkkitilanteen 1 lähtötiedot

	Arvo
Ulkoseinä	$0,12 \text{ W}/\text{m}^2,\text{K}$
Yläpohja	$0,08 \text{ W}/\text{m}^2,\text{K}$
Alapohja	$0,12 \text{ W}/\text{m}^2,\text{K}$
Ikkunat	$0,8 \text{ W}/\text{m}^2,\text{K}$
Ovet	$0,8 \text{ W}/\text{m}^2,\text{K}$
q_{50}	$1,0 \text{ m}^3/\text{h},\text{m}^2$
LTO lämpötilasuhde	65,0 %
LTO jäteilman min t	$0 \text{ }^\circ\text{C}$
SFP-luku	$2,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$
Lämmöntuottotapa	Kaukolämpö
Lämmönjakotapa	Lattialämmitys $35/30 \text{ }^\circ\text{C}$

4.3.2 Esimerkkitalanne 2

Esimerkkitalanteessa 2 rakennusvaipan U-arvot ovat passiivitalon mallin U-arvoja vastaavat. Rakennusvaipan ilmanvuotolukuna q_{50} käytetään arvoa $0,7 \text{ m}^3/\text{h},\text{m}^2$. Ilmanvaihtokoneena on Vallox 96 SW. Ilmanvaihtokoneen SFP-lukuna käytetään arvoa $1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Lämmöntuotanto tapahtuu pellettikattilalla. Lämmönjakojärjestelmänä on vesikiertoinen lattialämmitys mitoituslämpötiloilla $35/30 \text{ }^\circ\text{C}$. Lähtötiedot on esitetty taulukossa 12.

TAULUKKO 12. Esimerkkitalanteen 2 lähtötiedot

	Arvo
Ulkoseinä	$0,09 \text{ W}/\text{m}^2,\text{K}$
Yläpohja	$0,07 \text{ W}/\text{m}^2,\text{K}$
Alapohja	$0,10 \text{ W}/\text{m}^2,\text{K}$
Ikkunat	$0,7 \text{ W}/\text{m}^2,\text{K}$
Ovet	$0,7 \text{ W}/\text{m}^2,\text{K}$
q_{50}	$0,7 \text{ m}^3/\text{h},\text{m}^2$
LTO lämpötilasuhde	78,6 %
LTO jäteilmän min t	$-5,6 \text{ }^\circ\text{C}$
SFP-luku	$1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$
Lämmöntuottotapa	Pellettilämmitys
Lämmönjakotapa	Lattialämmitys $35/30 \text{ }^\circ\text{C}$

4.3.3 Esimerkkitalanne 3

Esimerkkitalanteessa 3 rakennusvaipan U-arvot ovat ”nollaenergiatalon” U-arvoja vastaavat. Rakennusvaipan ilmanvuotolukuna q_{50} käytetään arvoa $0,4 \text{ m}^3/\text{h},\text{m}^2$. Ilmanvaihtokoneena on Vallox 96 SW-konetta. Ilmanvaihtokoneen SFP-lukuna käytetään arvoa $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$. Lämmöntuotanto tapahtuu maalämpöpumpulla. Lämmönjakojärjestelmänä on vesikiertoinen lattialämmitys mitoituslämpötiloilla $35/30 \text{ }^\circ\text{C}$. Lähtötiedot ovat esitetty taulukossa 13.

TAULUKKO 13. Esimerkkitalanteen 3 lähtötiedot

Osa	Arvo
Ulkoseinä	0,08 W/m ² ,K
Yläpohja	0,06 W/m ² ,K
Alapohja	0,07 W/m ² ,K
Ikkunat	0,5 W/m ² ,K
Ovet	0,4 W/m ² ,K
q ₅₀	0,4 m ³ /h,m ²
LTO lämpötilasuhde	78,6 %
LTO jäteilman min T	-5,6 °C
SFP-luku	1,0 kW/(m ³ /s)
Lämmöntuottotapa	Maalämpöpumppu
Lämmönjakotapa	Lattialämmitys 35/30 °C

4.3.4 Esimerkkitalanne 4

Esimerkkitalanne 4 on muuten samanlainen kuin esimerkkitalanne 3, mutta järjestelmään on liitetty myös aurinkosähköjärjestelmä ja ikkunoista on poistettu sälekaihtimet. Sälekaihtimien poistaminen laskee lämmitysenergian tarvetta, sillä auringon säteily lämmittää rakennusta ikkunoiden läpi enemmän, kun ikkunoissa ei ole suojausta. Esimerkkitalanteen 4 lähtötiedot ovat esitetty taulukossa 14.

TAULUKKO 14. Esimerkkitalanteen 4 lähtötiedot

Osa	Arvo
Ulkoseinä	0,08 W/m ² ,K
Yläpohja	0,06 W/m ² ,K
Alapohja	0,07 W/m ² ,K
Ikkunat	0,5 W/m ² ,K
Ovet	0,4 W/m ² ,K
q ₅₀	0,4 m ³ /h,m ²
LTO lämpötilasuhde	78,6 %
LTO jäteilman min T	-5,6 °C
SFP-luku	1,0 kW/(m ³ /s)
Lämmöntuottotapa	Maalämpöpumppu
Lämmönjakotapa	Lattialämmitys 35/30 °C
Omavaraisenergia	Aurinkosähkö

5 E-LUKU JA OSTOENERGIAN TARVE

Tässä luvussa tullaan esittämään tutkittavien tekijöiden vaikutusta rakennuksen E-lukuun ja ostoenergian tarpeeseen. E-luku ja ostoenergian tarve esitetään perustilanteessa. Perustilanteen tuloksissa on jaoteltu ostoenergia osiin, jotta tiedetään mistä rakennuksen ostoenergiankulutus ja E-luku koostuvat lähtötilanteessa. Tämän jälkeen esitetään yksittäisten tekijöiden vaikutuksia ostoenergian tarpeeseen ja E-lukuun. Lisäksi esitetään esimerkkitalanteiden ostoenergiankulutukset ja E-luvut.

5.1 Perustilanne

Perustilanteessa rakennuksen ostoenergiankulutukseksi tuli 260,3 kWh/m² a ja E-luvuksi 238,5 kWh_E/m²,a. Lämmitettävältä nettopinta-alaltaan alle 120 m² pientalon E-luvun suurin sallittu arvo on 204 kWh_E/m²,a, joten perustilanteen mukainen talo ei täytä E-luvun vaatimusta. Taulukossa 15 on esitetty ostoenergiankulutuksen ja E-luvun koostuminen perustilanteessa. Taulukossa on esitetty energiankulutus, energiankulutus lämmitettyä nettoneliömetriä kohden ja prosentuaalinen osuus kokonaisenergiankulutuksesta ja E-luvusta vuodessa. Perustilanteessa lämmityksen (tilojen + ilmanvaihdon) osuus vuosittaisesta ostoenergian tarpeesta on yli 70 % ja kokonaisenergiasta yli 60 %.

TAULUKKO 15. Ostoenergiankulutus ja E-luku perustilanteessa

	Ostoenergiankulutus vuodessa			Kokonaisenergia vuodessa		
	kWh	kWh/m ²	%	kWh	kWh _E /m ²	%
Asukkaan sähkö	1455	15.8	6.1	2473	26.9	11.3
Valaistus	647	7	2.7	1099	11.9	5.0
LVI sähkö	1004	10.9	4.2	1706	18.5	7.8
Lämmitys, sähkö	2075	22.6	8.7	3528	38.3	16.1
Lämmitys	15044	163.5	62.8	10531	114.4	48.0
LKV	3724	40.5	15.5	2607	28.3	11.9
Yhteensä	23949	260.3	100.0	21944	238.5	100.0

Kuluttajalaitteiden kuluttamaan sähköenergian tarpeeseen ei voida vaikuttaa, sillä E-lukua laskettaessa käytetään aina SrakMK osan D3 taulukon 3.3.1 arvoa. Valaistuksen kuluttamaan sähköenergian tarpeeseen voidaan vaikuttaa, jos valaistuksen riittävyydestä tehdään erillisselvitys, mutta tässä työssä käytetään D3-taulukon 3.3.1 mukaista ohjearvoa kaikissa tilanteissa. [2, s. 19.] LVI-järjestelmien kuluttama sähköenergia koostuu

lämmönjaon- ja luovutuksen apulaitteiden, lämmöntuoton apulaitteiden ja ilmanvaihtojärjestelmän tarvitsemasta sähköenergiasta. Jos järjestelmän mitoitus ja pumpun hyötysuhde säilyvät samana, lämmönjaon- ja luovutuksen apulaitteiden sähköenergiankulutus muuttuu lämmitystehontarpeen muuttuessa, sillä pumppujen sähköenergiankulutus muuttuu lämmitysjärjestelmässä virtaavan veden tilavuusvirran muuttuessa. Lämmöntuoton apulaitteiden sähköenergiankulutukseen vaikuttaa lämmöntuottojärjestelmä ja ilmanvaihtojärjestelmän apulaitteiden kulutukseen ilmanvaihtokoneen SFP-luku.

Lämmityksen energiankulutus koostuu tilojen lämmittämiseen sekä tuloilman lämmittämiseen kuluvasta lämmitysenergiantarpeesta. Perustilanteessa tilojen lämmittämiseen kuluvan energian osuus E-luvusta oli 48,0 % ja tuloilman lämmittämisen osuus E-luvusta 16,1 %. Taulukossa 16 on esitetty rakennusvaipan ominaislämpöhäviöt perustilanteessa.

TAULUKKO 16. Rakennusvaipan ominaislämpöhäviöt perustilanteessa

Vaipan osa	Ala [m ²]	U [W/(K,m ²)]	U*A [W/K]	%
Seinät	152.76	0.17	26.0	21.7
Yläpohja	93.08	0.09	8.4	7.0
Alapohja	92.01	0.16	14.3	12.0
Ikkunat	46.66	1.00	46.7	39.0
Ulko-ovet	9.26	1.01	9.3	7.8
Kylmäsiilat			15.1	12.6
Yhteensä	393.77		119.8	100.0

Ikkunoiden ominaislämpöhäviöiden osuus on selvästi suurin (39,0 %) ja ulkoseinien ominaislämpöhäviöiden toiseksi suurin (21,7 %). Yhdessä näiden kahden osuus on yli 60 % koko rakennusvaipan ominaislämpöhäviöistä. Kylmäsiiltojen ja alapohjan ominaislämpöhäviöiden osuudet koko rakennusvaipan ominaislämpöhäviöistä olivat molemmilla vähän yli 10 % ja ulko-ovien ja ominaislämpöhäviöiden osuudet hieman alle 10 %.

Tilojen lämmittämiseen kuluvaan nettoenergiaan vaikuttavat rakennuksen lämpökuormat, rakennuksen vaipan lämmönläpäisykertoimet ja pinta-alat, rakennuksen ilmatii-
viys ja tuloilmavirta ja sen lämpötila. Rakennuksen sisäiset lämpökuormat ja tuloilma-
virta pysyvät standardikäytön mukaisina kaikissa tilanteissa. Tuloilman minimilämpö-
tila pysyy myös kaikissa tilanteissa samana. Ikkunoiden läpi tulevaan lämpöenergian
määrän vaikuttaa ikkunoiden g-arvot sekä sälekaihtimet. Tuloilman lämmittämiseen

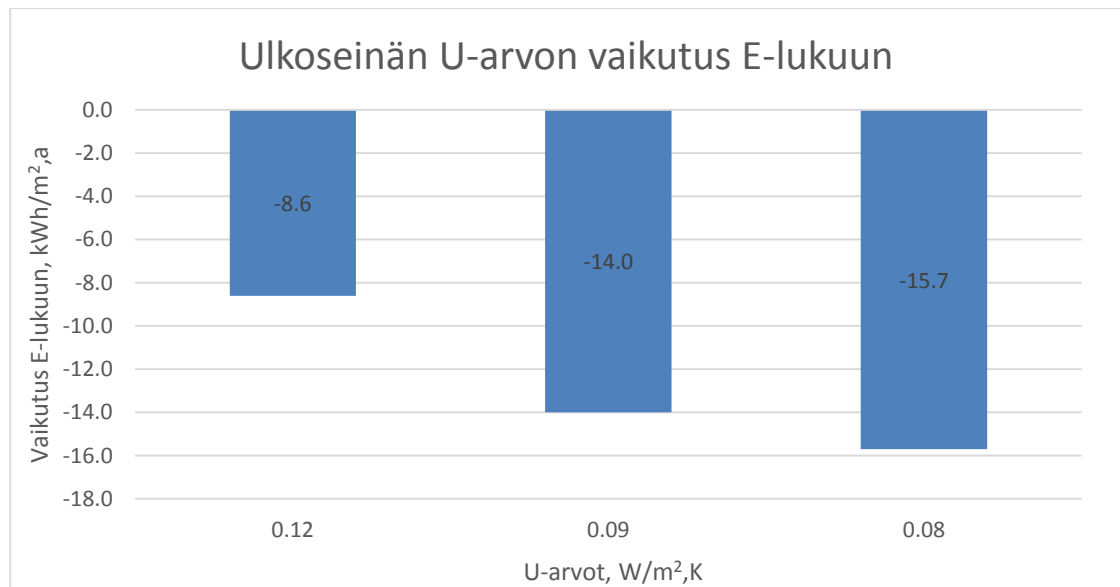
kuluvaan nettolämmitysergiantarpeeseen vaikuttaa lämmöntalteenoton tuloilman lämpötilasuhde ja jäteilman minimilämpötila. Ostoenergiaa laskettaessa otetaan huomioon myös lämmönjaon ja -luovutuksen lämpöhäviöt ja lämmöntuoton vuosihyötysuhde. Lämmöntuottojärjestelmän vuosihyötysuhteeseen vaikuttaa käytettävä lämmöntuottojärjestelmä. Lämmönjaon ja -luovutuksen vuosihyötysuhteeseen vaikuttaa mitoituslämpötilat ja käytettävä lämmönjakojärjestelmä.

5.2 Yksittäisten tekijöiden muuttaminen

5.2.1 Rakennusvaipan U-arvot ja ilmetiiveys

Tässä kappaleessa tutkitaan rakennusvaipan osien U-arvojen vaikutusta E-lukuun. Aluksi tutkitaan eri rakennusosien yksittäisiä vaikutuksia siten, että yksittäisen rakennusvaipan osan rakenteet on muutettu tutkittavaa mallia (esim. passiivitalo tai matala-energiatalo) vastaavaksi. Lisäksi rakennusvaipan tiiveyden vaikutusta on tutkittu erikseen. Tämän jälkeen on tutkittu kaikkien eri tilanteiden yhteisvaikutuksia siten, että kaikki rakennusvaipan osat ja rakennusvaipan tiiveys on muutettu tutkittavaa mallia vastaavaksi. Tulosten vertailu tapahtuu perusmallin ostoenergiankulutukseen ja E-lukuun. Eri mallien U-arvot löytyvät taulukosta 8.

Perusmallissa ulkoseinien ominaislämpöhäviöiden osuus koko rakennusvaipan ominaislämpöhäviöiden osuudesta on 21,7 %, joka on ikkunoiden jälkeen toiseksi suurin osuus. Kuvassa 3 on esitetty ulkoseinien U-arvojen vaikutusta rakennuksen ostoenergiankulutukseen ja E-lukuun, kun verrataan tilanteeseen, jossa ulkoseinien U-arvo on $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$.

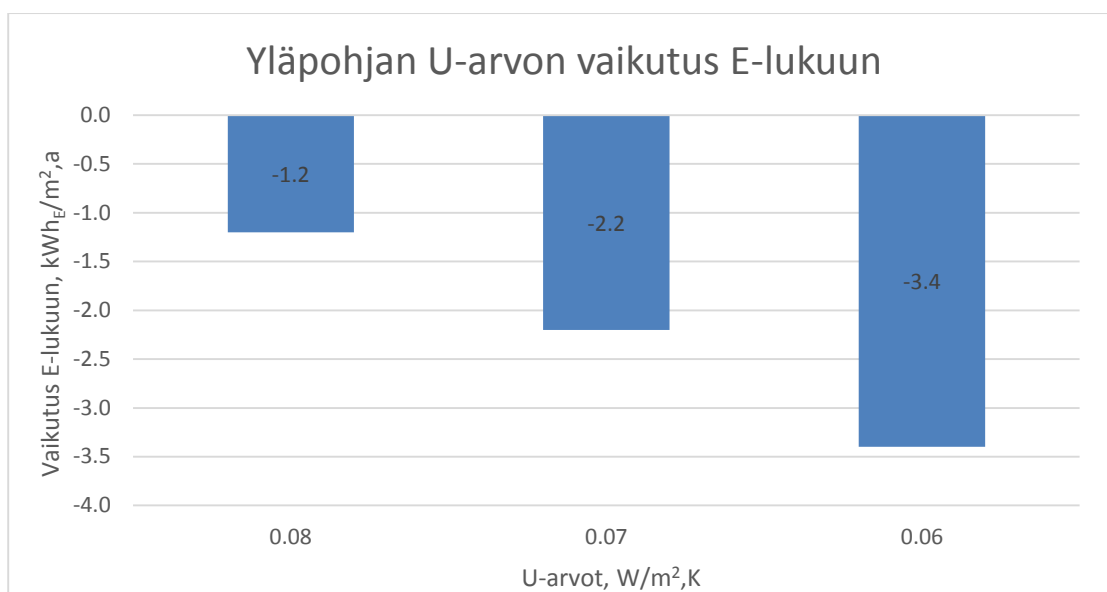


KUVA 3. Ulkoseinien U-arvojen vaikutus E-lukuun

Kuvassa on y-akselina ulkoseinän U-arvon vaikutus E-lukuun. Kuvaajasta voidaan lukea, kuinka paljon ulkoseinärakenteen lämmönläpäisykertoimen aleneminen, perusmallin ulkoseinärakenteeseen verrattuna, vähentää rakennuksen E-lukua.

Lisäämällä ulkoseiniin lisää eristävää materiaalia ja näin ollen pienentämällä niiden U-arvoja päästään huomattaviin energiasäästöihin. Ulkoseinän U-arvolla $0,12 \text{ W/m}^2\text{K}$ rakennuksen ostoenergiankulutus pienenee $12,0 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ja E-luku $8,6 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{a}$. U-arvolla $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ ostoenergiankulutus pienenee $19,3 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ja E-luku $14,0 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{a}$. U-arvolla $0,08 \text{ W/m}^2\text{K}$ vaikutus ostoenergiankulutukseen on $21,8 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ja E-lukuun $15,7 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{a}$. Ulkoseinien hyvällä eristämällä saadaan huomattavia energiasäästöjä pientaloissa. Ostoenergiankulutus pienenee ulkoseinän U-arvon pienentyessä arvosta $0,17 \text{ W/m}^2\text{K}$ arvoon $0,08 \text{ W/m}^2\text{K}$ noin kahdeksalla prosentilla tässä tapauksessa.

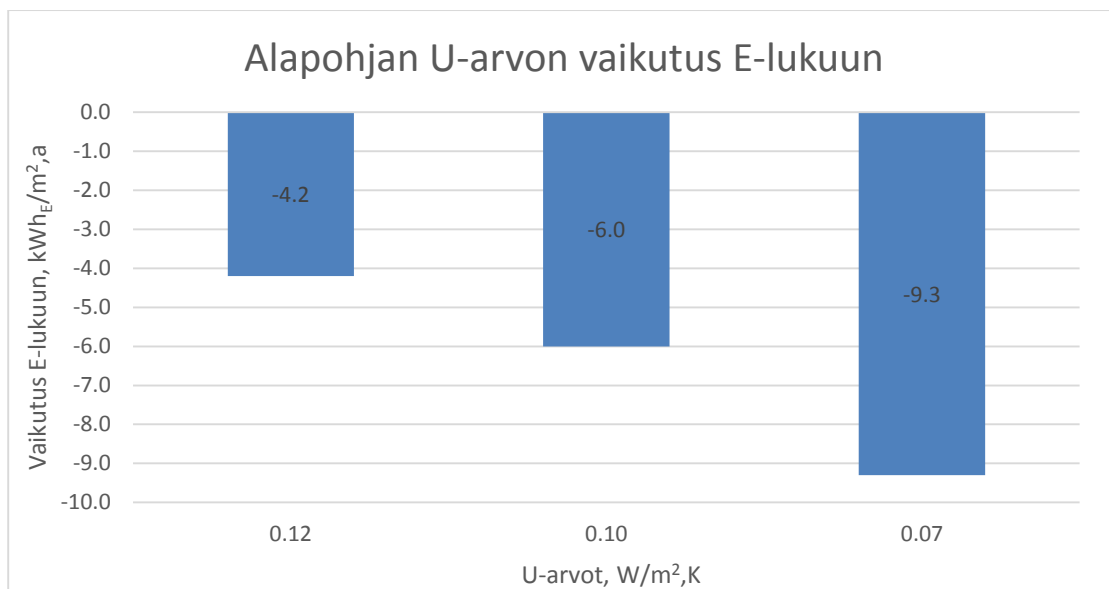
Yläpohjan ominaislämpöhäviöiden osuus koko rakennusvaipan ominaislämpöhäviöistä on perusmallissa $7,0 \%$. Sen osuus on siis verrattain pieni rakennuksen ostoenergiankulutuksesta ja E-luvusta. Lisäksi jo perusmallissa yläpohjan U-arvo on melko alhainen, joten mahdollisuutta suureen energiasäästöön ei ole parantamalla yläpohjan lämmöneristävyyttä. Yläpohjan johtumislämpöhäviöiden aiheuttamaa vaikutusta rakennuksen E-lukuun on esitetty kuvassa 4.



KUVA 4. Yläpohjan U-arvon vaikutus E-lukuun

Matalaenergiatalon mallin mukaisella yläpohjarakenteella ostoenergiankulutus laskee 1,6 kWh/m²,a ja E-luku 1,2 kWh_E/m²,a. Passiivitalon mallin mukaisella yläpohjarakenteella ostoenergiankulutus laskee 3,1 kWh/m²,a ja E-luku 2,2 kWh_E/m²,a. Nollaenergiatalon mallin mukaisella yläpohjarakenteella ostoenergiankulutus laskee 4,6 kWh/m²,a ja E-luku 3,4 kWh_E/m²,a. E-luku ei alene merkittävästi yläpohjan eristyksen lisäämisellä.

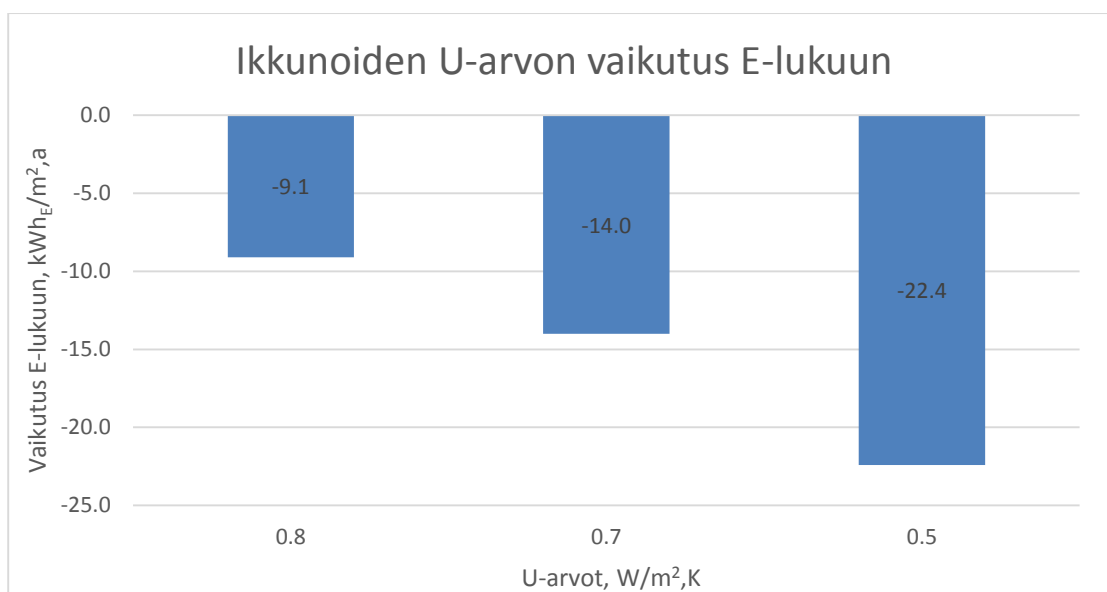
Perustilanteessa alapohjan ominaislämpöhäviön osuus koko rakennusvaipan ominaislämpöhäviöistä on 12,0 %. Osuus on kohtalainen, ja nollaenergiatalon mukainen U-arvo on puolet perusmallin mukaisesta U-arvosta, joten alapohjan eristystä lisäämällä on saatavilla suuria energiansäästöjä. Alapohjan U-arvojen vaikutusta E-lukuun on esitetty kuvassa 5.



KUVA 5. Alapohjan U-arvon vaikutus E-lukuun

Matalaenergiatalon mallin mukaisella alapohjarakenteella ostoenergiankulutus laskee 5,7 kWh/m²,a ja E-luku 4,2 kWh_E/m²,a. Passiivitalon mallin mukaisella yläpohjarakenteella ostoenergiankulutus laskee 8,4 kWh/m²,a ja E-luku 6,0 kWh_E/m²,a. Nollaenergiatalon mallin mukaisella yläpohjarakenteella ostoenergiankulutus laskee 13,1 kWh/m²,a ja E-luku 9,3 kWh_E/m²,a. Alapohjan eristyksellä on melko huomattava osuus rakennuksen energiatehokkuudessa.

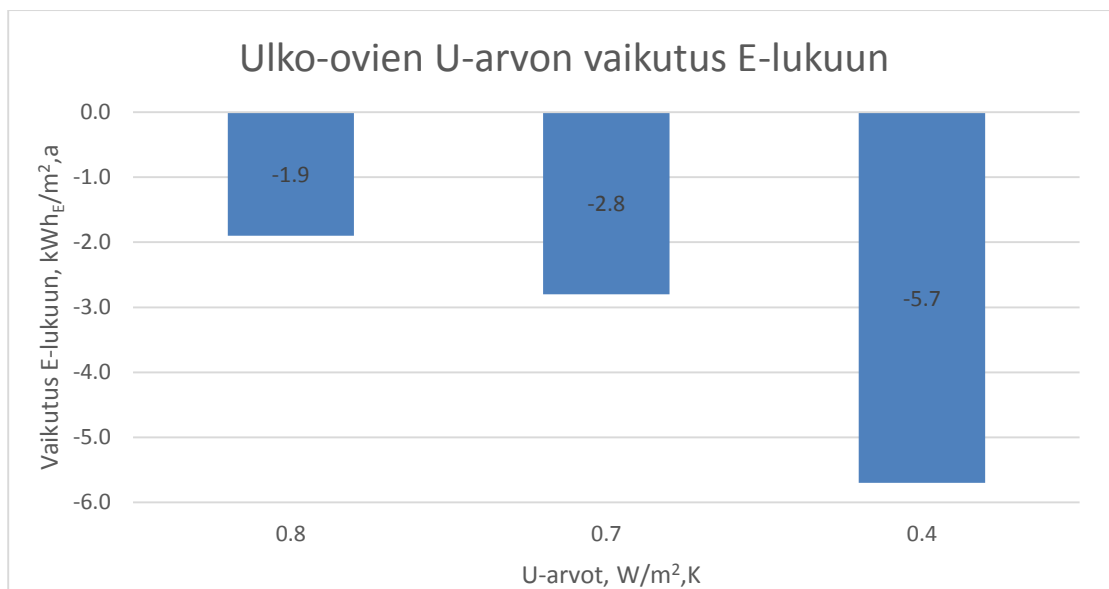
Ikkunoiden ominaislämpöhäviöiden osuus on todella iso osa koko rakennusvaipan ominaislämpöhäviöistä, lähes 40 %. Tämä johtuu rakennuksen suurista ikkunapinta-aloista ja ikkunoiden korkeista U-arvoista perustilanteessa. Uusia energiatehokkaita ikkunoita käyttämällä saadaan säästettyä paljon energiaa. Ikkunoiden U-arvojen pienentyessä niiden g-arvot, eli auringonsäteilyn kokonaisläpäisykertoimet laskevat, jolloin auringon säteilyn lämmityksen osuus pienenee. Ikkunoiden U-arvojen vaikutusta rakennuksen E-lukuun on esitetty kuvassa 6.



KUVA 6. Ikkunoiden U-arvon vaikutus E-lukuun

Ikkunan lämmönläpäisykerroin vaikuttaa rakennuksen energiankulutukseen paljon. Ikkunan U-arvolla 0,8 W/m²,K vaikutus ostoenergiankulutukseen on 12,6 kWh/m²,a ja vaikutus E-lukuun 9,1 kWh_E/m²,a. U-arvolla 0,7 W/m²,K vaikutus ostoenergiankulutukseen on 19,4 kWh/m²,a ja E-lukuun 14,0 kWh_E/m²,a. U-arvolla 0,5 W/m²,K vaikutus ostoenergiankulutukseen on 31,0 kWh/m²,a ja E-lukuun 22,4 kWh_E/m²,a. Energiansäästö vertailuarvon mukaisia ikkunoita energiatehokkaammilla ikkunoilla on todella suuri. Säästö vuosittaisessa ostoenergiankulutuksessa nollaenergiatalon mallin mukaisilla ikkunoilla on noin 12 %, kun vertailtavina ikkunalaseina ovat perusmallin mukaiset ikkunalasit.

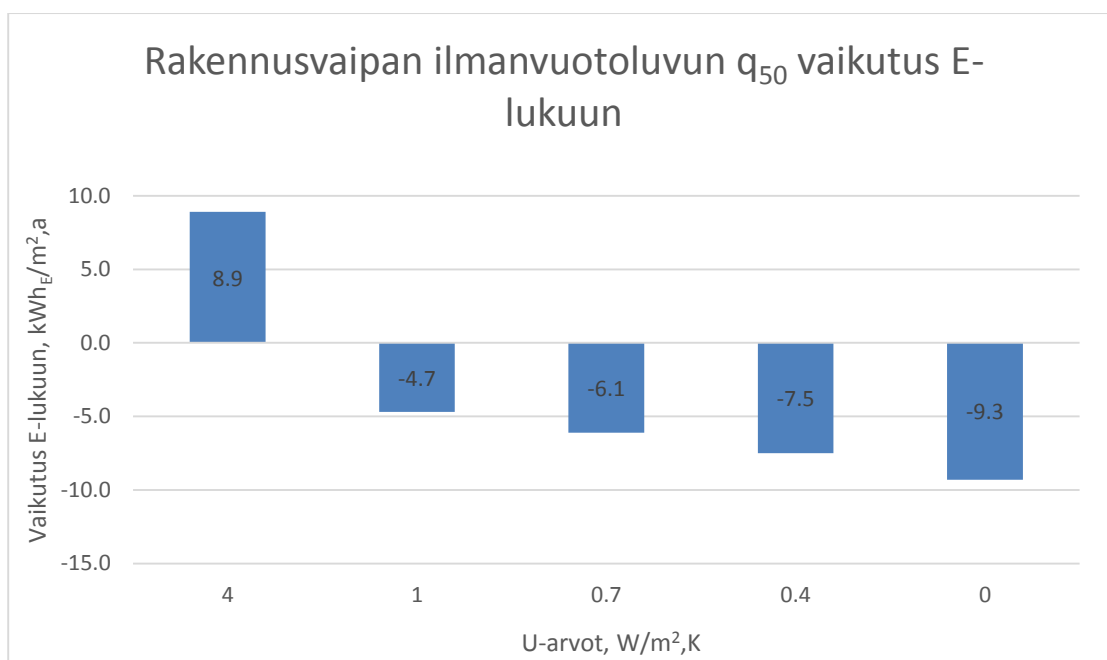
Ovien U-arvo perustilanteessa on korkea, 1,0 W/m²,K. Tämän vuoksi perustilanteessa ulko-ovien ominaislämpöhäviöiden osuus (7,8 %) koko rakennusvaipan ominaislämpöhäviöiden osuudesta on yläpohjan osuutta suurempi siitä huolimatta, että ulko-ovien pinta-ala on pieni. Nollaenergiatalon mallissa ulko-ovien U-arvo on alle puolet perustilanteen U-arvosta, joten odotettavissa on kohtalaista energiansäästöä. Ulko-ovien U-arvon vaikutusta rakennuksen E-lukuun on esitetty kuvassa 7.



KUVA 7. Ulko-ovien U-arvon vaikutus E-lukuun

Matalaenergiatalon mallin mukaisella ulko-oven rakenteella ostoennergiankulutus laskee $2,6 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$ ja E-luku $1,9 \text{ kWh}_E/\text{m}^2, \text{a}$. Passiivitalon mallin mukaisilla ulko-ovilla ostoennergiankulutus laskee $3,9 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$ ja E-luku $2,8 \text{ kWh}_E/\text{m}^2, \text{a}$. Nollaenergiatalon mallin mukaisilla ulko-ovilla ostoennergiankulutus laskee $7,8 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$ ja E-luku $5,7 \text{ kWh}_E/\text{m}^2, \text{a}$. Ulko-oven rakenteella on kohtalainen vaikutus rakennuksen energiatehokkuuteen. Yksinään vaikutus ei ole kovin suuri, mutta yhteisvaikutuksessa kuitenkin huomioitava.

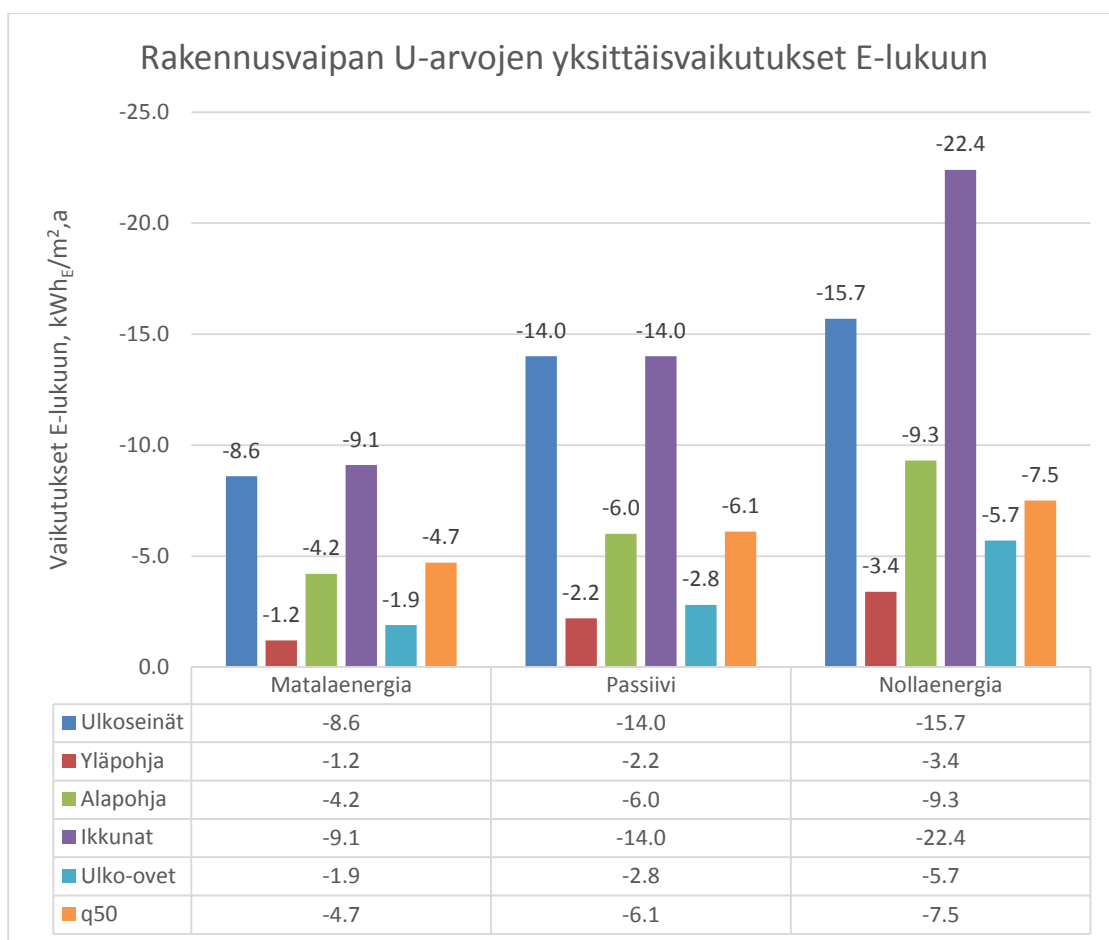
Rakennuksen tiiveydellä on todennäköisesti huomattava vaikutus rakennuksen ostoennergianmäärään ja E-lukuun, sillä talvella sisätiloihin vuotoilmana tuleva ilma on kylmää ja pienenkin ilmavirran lämmittämiseen kuluu reilusti energiaa. Rakennusvai-
pan ilmanvuotoluku q_{50} tutkittavat arvot ovat taulukon 8 arvojen lisäksi arvo $4,0 \text{ m}^3/\text{h}, \text{m}^2$, jota käytetään, mikäli ilmapitävyyttä ei osoiteta mittaamalla tai muulla menet-
telyllä. Lisäksi simulointi on suoritettu myös täysin ilmatiiviillä rakennuksella. Rakennusvai-
pan ilmanvuotoluvun q_{50} vaikutukset E-lukuun on esitetty kuvassa 8.



KUVA 8. Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} vaikutus E-lukuun

Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} ollessa $4,0 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$, rakennuksen ostoenergiankulutus on $12,2 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{,a}$ suurempi ja E-luku $8,9 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{,a}$ suurempi kuin arvolla $2,0 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$. Arvolla $1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ostoenergiankulutus pienenee $6,4 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{,a}$ ja E-luku pienenee $4,7 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{,a}$. Arvolla $0,7 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ostoenergiankulutus pienenee $8,3 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{,a}$ ja E-luku $6,1 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{,a}$. Arvolla $0,4 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ostoenergiankulutus pienenee $10,4 \text{ kWh}/\text{m}^2\text{,a}$ ja E-luku $7,5 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{,a}$. Erot ovat huomattavia ja rakennuksien ilmatiiveys on tärkeä osa rakennuksen energiatehokkuutta. Ilmanvuotoluku on tärkeää mitata tai osoittaa jollain muulla tapaa E-lukua laskettaessa. Mikäli tämän rakennuksen todellinen ilmanvuotoluku olisi $1,0 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$ ja sen ilmanvuotolukua ei osoitettaisi, rakennuksen E-luku olisi (arvolla $4,0 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{h}$) $13,6 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{,a}$ suurempi kuin se todellisuudessa on.

Kuvassa 9 on esitetty erikseen kaikkien rakennusosien vaikutukset E-lukuun tulosten selventämiseksi.

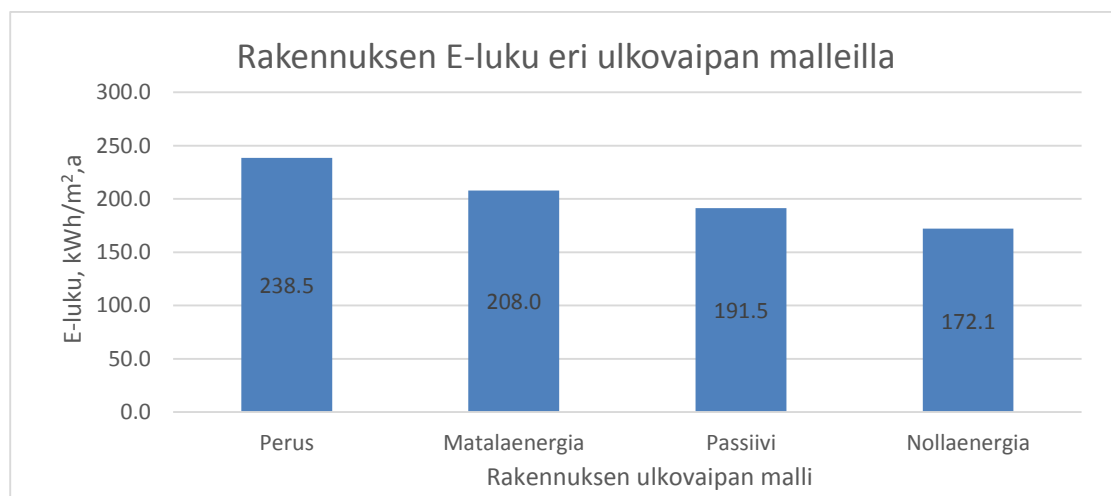


KUVA 9. Rakennusvaipan U-arvojen vaikutukset E-lukuun

Kuvaajasta nähdään, että ikkunoiden ja ulkoseinien vaikutus rakennuksen E-lukuun pienenevät selvästi eniten kaikilla eri malleilla. Niiden osuuden pienentyminen on yhteensä noin 60 % koko vaipan osuudesta jokaisella eri mallilla. Matalaenergia- ja passiivimallissa ulkoseinien vaikutus E-lukuun pienenee suunnilleen yhtä paljon kuin ikkunoiden, mutta nollaenergiamallissa ikkunoiden vaikutus E-lukuun pienenee selvästi enemmän kuin ulkoseinien vaikutus. Rakennusvaipan ilmanvuotoluvun q_{50} ja alapohjan U-arvon vaikutus on matalaenergia- ja passiivimallissa yhtä suuri, nollaenergiamallissa alapohjan U-arvon vaikutus on hieman suurempi kuin rakennusvaipan ilmanvuotoluvun vaikutus. Ulko-ovien rakenteen vaikutus E-lukuun vaikuttaa kaikkien mallien mukaisilla rakenteilla toiseksi vähiten ja yläpohjan lisäeristäminen vähiten.

Matalaenergiatalon mallilla yksittäisten rakennusvaipan osien yhteenlaskettu vaikutus E-lukuun on 29,7 kWh_E/m²,a. Passiivitalon mallilla vastaava luku on 45,1 kWh_E/m²,a. Nollaenergiatalon mallilla, laskemalla yhteen yksittäisten osien vaikutus, E-luku piene-

nee perusmalliin nähden $64,0 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$. Eri mallien yhteisvaikutuksia on tutkittu mallintamalla kaikki tilanteet erikseen. Rakennuksen E-luku eri rakennusvaipan malleilla on esitetty kuvassa 10.



KUVA 10. Rakennuksen E-luku eri rakennusvaipan malleilla

Yhteisvaikutukset E-lukuun ovat hieman suurempia kuin laskemalla yksittäisten osien vaikutukset yhteen. Tähän vaikuttaa myös lämmönjakojärjestelmän apulaitteiden energiankulutus, sillä pienemmällä virtaamalla esimerkiksi pumppu kuluttaa vähemmän sähköenergiaa. Perusmallilla rakennuksen ostoenergiankulutus on $260,3 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$, matalaenergiatalon mallilla $218,0 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$, passiivitalon mallilla $195,0 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$ ja nollaenergiatalon mallilla $167,9 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$. Ostoenergiankulutus ja E-luku laskevat huomattavasti rakennusvaipan energiatehokkaammilla rakenteilla. Taulukossa 16 on esitetty LVI-järjestelmien sähköenergian ja lämmitysenergian vuosittaiset ostoenergiankulutukset kaikissa tilanteissa.

TAULUKKO 16. LVI-järjestelmien sähkö- ja lämmitysenergian ostoenergiankulutukset vuodessa eri ulkovaipan malleilla

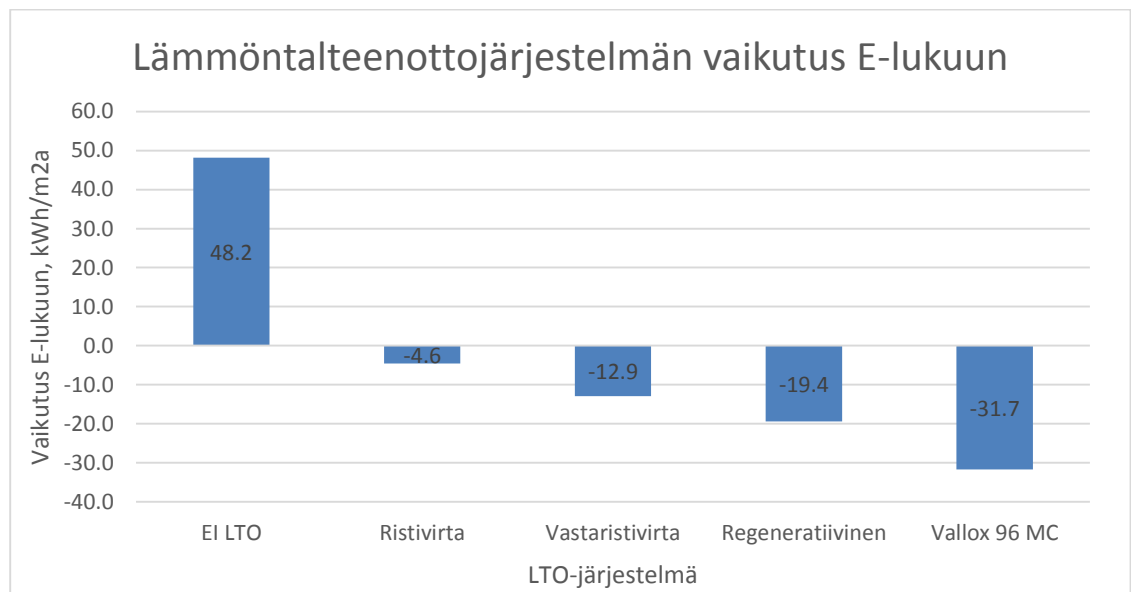
	Ostoenergiankulutus vuodessa, kWh/m ² ,a			
	Perus	Matala	Passiivi	Nollaenergia
LVI sähkö	10.9	10.6	10.5	10.3
Lämmitys	163.5	122.1	99.5	72.9

LVI-järjestelmien apulaitteiden sähköenergian ostoenergiankulutus laskee hieman lämmitysenergian vähentyessä. Perusmallin ja nollaenergiamallin välinen ostoenergianku-

lukuksen ero on $0,6 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$, joka on E-lukuna $1,0 \text{ kWh}_E/\text{m}^2, \text{a}$. Lämmityksen ostoenergiatarve laskee lähes puoleen perusmallin vaihtuessa nollaenergiatalon malliin. Koko rakennuksen ostoenergiatarve laskee $70 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$ ja E-luku pienenee $50 \text{ kWh}_E/\text{m}^2, \text{a}$.

5.2.2 Ilmanvaihdon lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde ja puhaltimien ominaissähkötehot

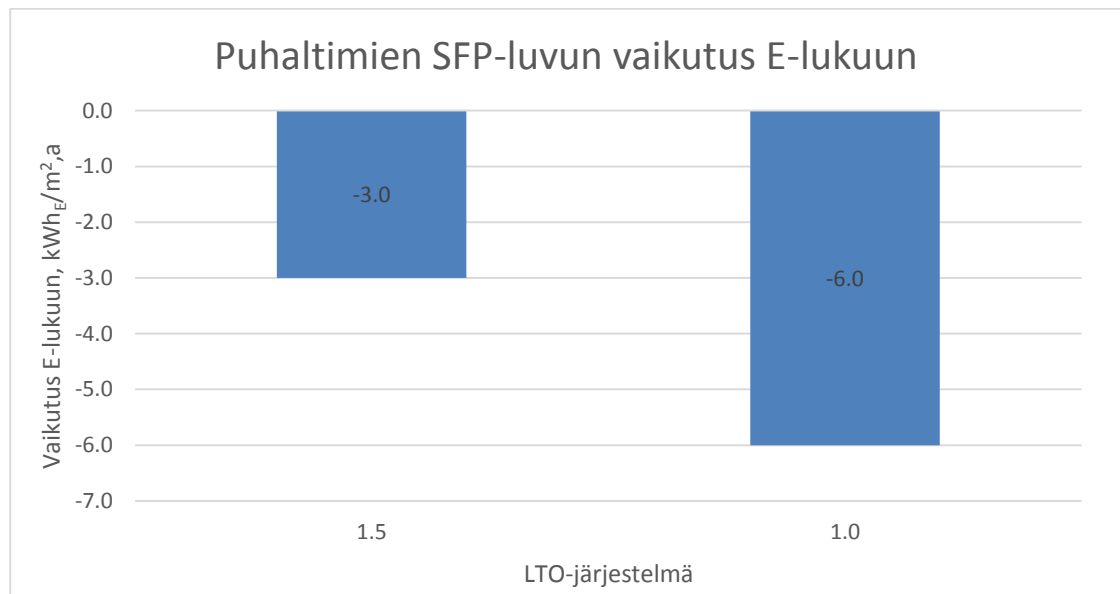
Tuloilman lämmittämiseen sisäänpuhalluslämpötilaan tarvittava lämmitysenergian määrä vuodessa on huomattava. Lämmöntalteenottolaitteistolla poistoilmasta talteen otetulla lämmitysenergialla on mahdollista saada aikaan huomattavia säästöjä. Esimerkiksi, mikäli kohteessa ei olisi lainkaan lämmöntalteenottolaitteistoa, ostoenergiankulutus olisi $30,5 \text{ kWh/m}^2, \text{a}$ suurempi kuin perustilanteen lämmöntalteenottoratkaisulla, jonka vuosihyötysuhde on $45,0 \%$. Kuvassa 11 esitetään lämmöntalteenottojärjestelmän vaikutusta rakennuksen E-lukuun.



KUVA 11. Lämmöntalteenottojärjestelmän vaikutus E-lukuun

Käytettäessä RakMK osan D5 mukaisia ristivirtalevylämmönsiirtimen lämpötilasuhdetta ja jäteilman minimilämpötilaa, vaikutus E-lukuun on $4,6 \text{ kWh}_E/\text{m}^2, \text{a}$. Vastaristivirtalevylämmönsiirtimellä vastaavia D5 mukaisia arvoja käytettäessä vaikutus E-lukuun on $12,9 \text{ kWh}_E/\text{m}^2, \text{a}$. Regeneratiivisellä lämmönsiirtimellä vaikutus on korkea, $19,4 \text{ kWh}_E/\text{m}^2, \text{a}$. Käyttämällä Vallox 96 MC -ilmanvaihtokoneen lämpötilasuhdetta ja jäteilman minimilämpötilaa vaikutus E-lukuun on todella korkea $31,7 \text{ kWh}_E/\text{m}^2, \text{a}$.

Ilmanvaihtojärjestelmä kuluttaa myös sähköä, mikä vaikuttaa ostoenergiankulutukseen ja E-lukuun. Ilmanvaihtokoneen ominaissähköteholla kuvataan, kuinka paljon ilmanvaihtokone kuluttaa sähköä ilmavirran $1 \text{ m}^3/\text{s}$ kuljettamiseen. Vaikutus ostoenergiankulutukseen ei ole kovin suuri, mutta sähkön korkeasta energiamuotokertoimesta johtuen ominaissähkötehon vaikutus E-lukuun on merkittävä. Ilmanvaihtokoneen ominaissähkötehon vaikutusta E-lukuun on esitetty kuvassa 12.



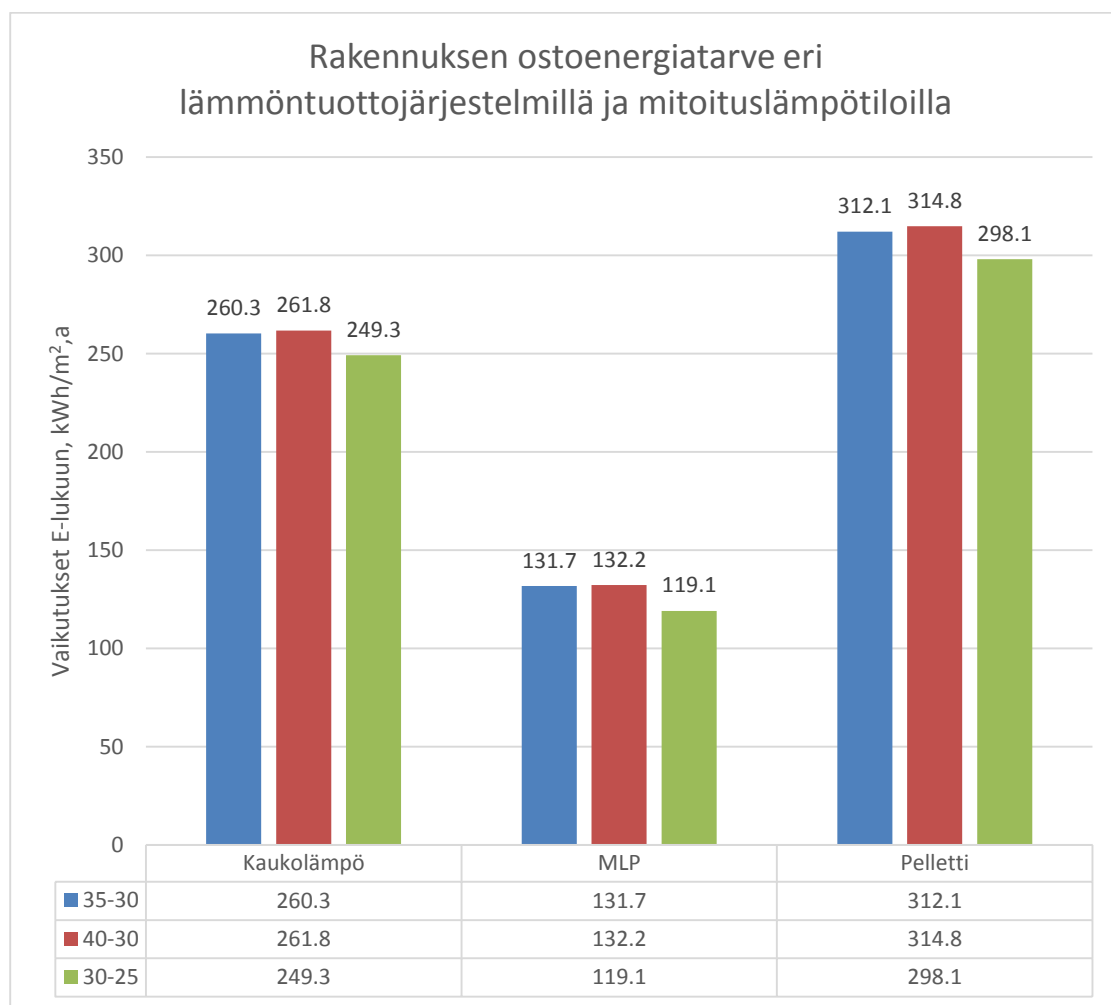
KUVA 12. Ilmanvaihtokoneen ominaissähkötehon vaikutus E-lukuun

Ominaissähkötehon arvolla $1,5 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ rakennuksen vuosittainen ostoenergiankulutus pienenee $1,8 \text{ kWh}/\text{m}^2,\text{a}$ ja E-luku $3,0 \text{ kWh}_E/\text{m}^2,\text{a}$. Ominaissähköteholla $1,0 \text{ kW}/(\text{m}^3/\text{s})$ rakennuksen ostoenergiankulutus pienenee $3,6 \text{ kWh}/\text{m}^2,\text{a}$ ja E-luku $6,0 \text{ kWh}_E/\text{m}^2,\text{a}$.

5.2.3 Lämmöntuotto- ja jakotapa

Lämmöntuottotapa vaikuttaa rakennuksen lämmityksen ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittavaan vuosittaiseen ostoenergiankulutukseen, koska eri lämmöntuottojärjestelmillä on eri hyötysuhteet ja niiden apulaitteet kuluttavat eri määrän sähköenergiaa. Hyötysuhteina ja apulaitteiden sähköenergiankulutuksina käytetään D5 mukaisia ohjearvoja. Kaukolämmönsiirtimeen vuosihyötysuhteena ohjearvo on 0,94 ja apulaitteiden sähköenergian vuosittainen kulutus $0,60 \text{ kWh}/\text{m}^2,\text{a}$. Pellettikattilan vuosihyötysuhteen ohjearvo on 0,75 ja apulaitteiden sähkönkulutus $0,77 \text{ kWh}/\text{m}^2,\text{a}$. Maalämpö-

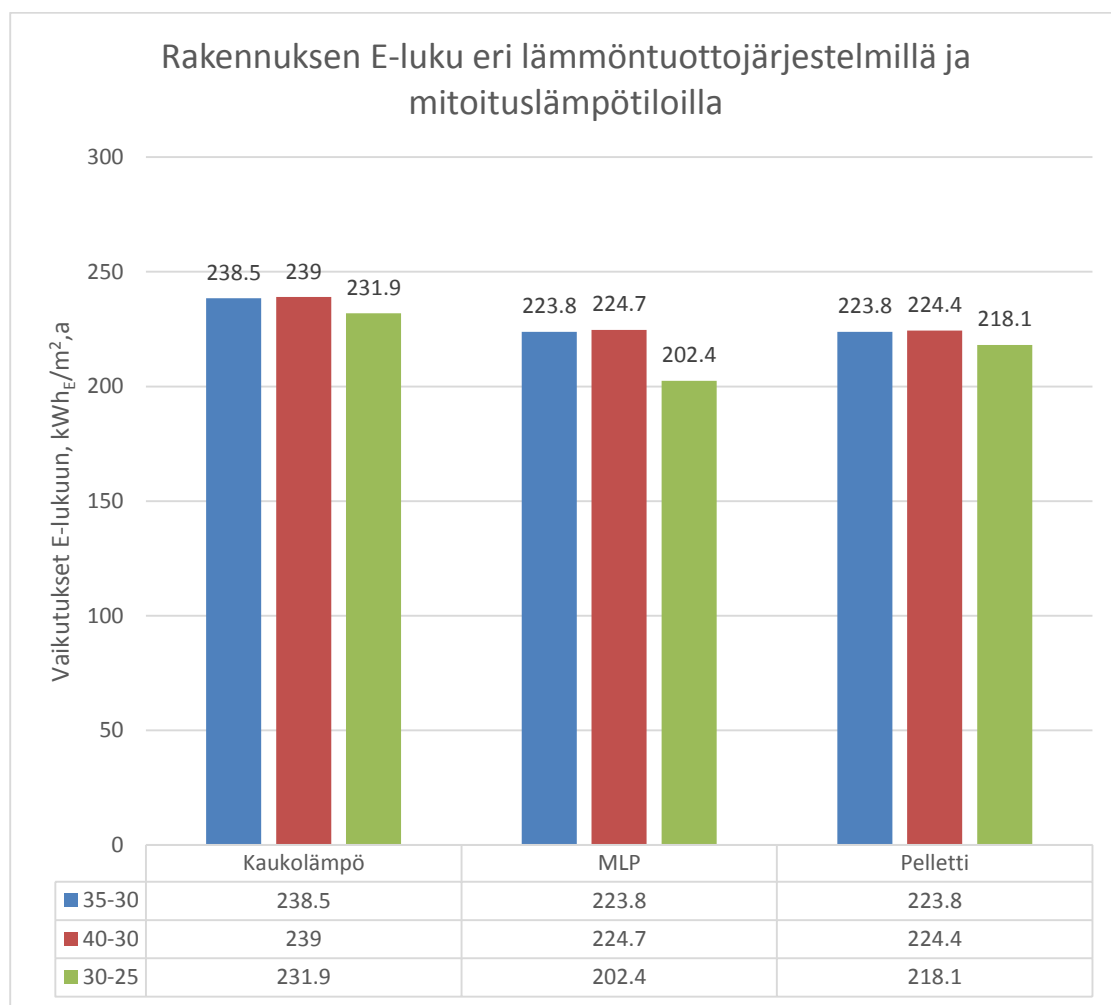
pumpun kausisuorituskykykerroin riippuu lämmitysjärjestelmän menoveden lämpötilasta. Menoveden lämpötilalla 35 °C kerroin on 3,3, lämpötilalla 30 °C kerroin on 3,5 ja lämpötilalla 40 °C kerroin on 3,1. Lattialämmityksessä kiertävän veden mitoituslämpötilat vaikuttavat myös lämmönjaon hyötysuhteeseen. Kuvassa 13 on esitetty rakennuksen vuosittaiset ostoenergiankulutukset eri lämmöntuottojärjestelmillä ja mitoituslämpötiloilla.



KUVA 13. Ostoenergiatarve eri lämmöntuottojärjestelmillä ja mitoituslämpötiloilla

Käytettäessä maalämpöpumppua ostoenergiatarpeet ovat selvästi pienimmät. Kaukolämmön ollessa lämmöntuottojärjestelmänä vuosittainen ostoenergiatarve on noin kaksinkertainen maalämpöpumppuun nähden. Pellettikattilan ollessa lämmöntuottojärjestelmä ostoenergiankulutukset ovat lähes 2,5-kertaiset maalämpöpumppuun verrattuna. Ostoenergiankulutuksissa on todella suuret erot eri lämmöntuottojärjestelmillä. Mitoituslämpötiloilla 30/25 °C ostoenergiankulutukset ovat pienimmät. Erot mitoituslämpötiloihin 40/30 °C ovat maalämpöpumpulla noin 5 kWh/m²,a, kaukolämmöllä noin

10 kWh/m²,a ja pellettilämmityksellä noin 13 kWh/m²,a. Mitoituslämpötiloilla 35/30 °C ostoenergiankulutukset ovat kaikilla lämmitysmuodoilla hieman pienemmät kuin mitoituslämpötiloilla 40/30 °C. Kun energiamuotokertoimet otetaan huomioon, vuosit-
taiset kokonaisenergiankulutuksien erot eivät ole eri lämmöntuottojärjestelmillä niin
suuria. Kuvassa 14 on esitetty rakennuksen E-luvut eri lämmöntuottojärjestelmillä ja
mitoituslämpötiloilla.

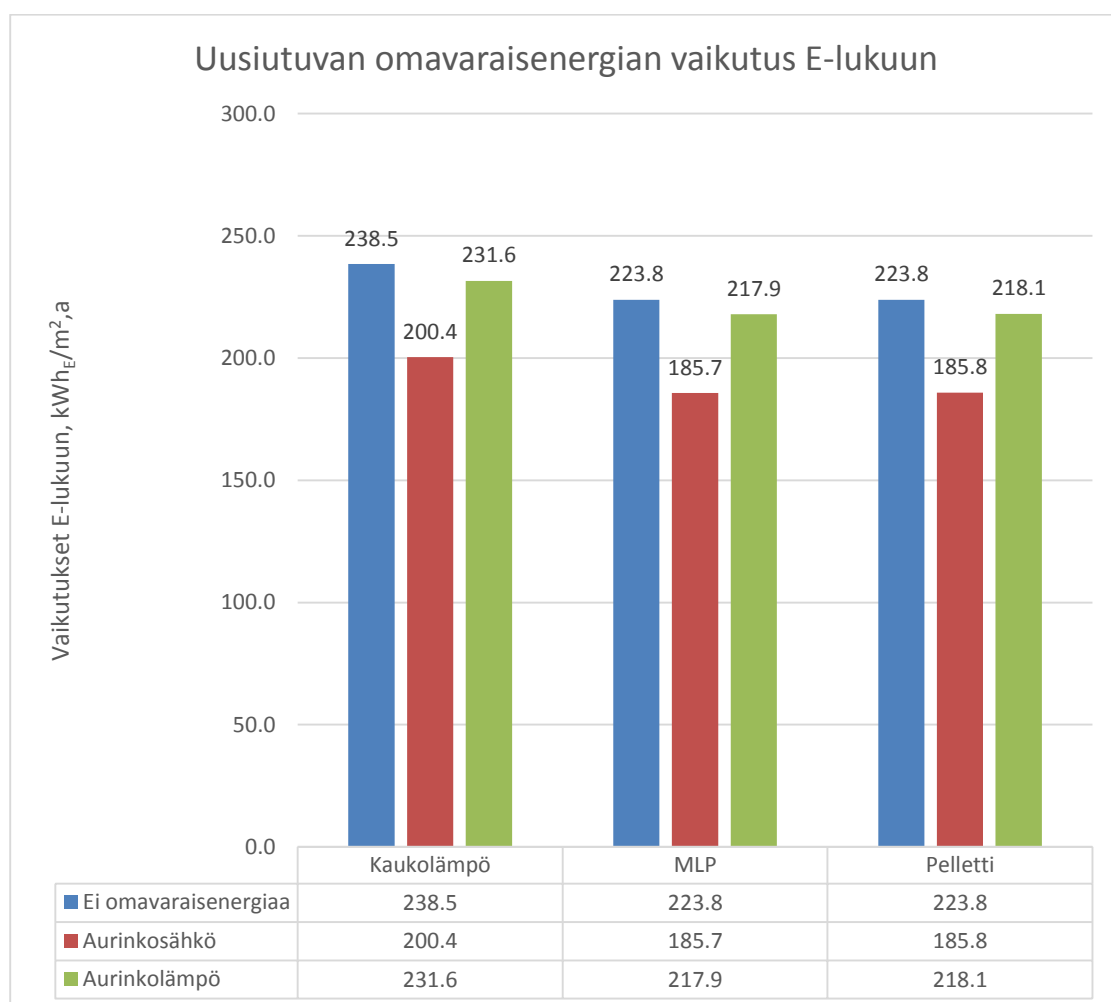


KUVA 14. E-luku eri lämmöntuottojärjestelmillä ja mitoituslämpötiloilla

E-luvut eri lämmöntuottojärjestelmillä ovat paljon lähempänä toisiaan kuin ostoenergi-
antarpeet. Kaukolämmitystä käytettäessä E-luku on kaikilla mitoituslämpötiloilla 13 -
15 kWhE/m²,a suurempi kuin pellettilämmityksellä. Maalämpöpumpulla ja pellettiläm-
mityksellä E-luvut ovat suunnilleen yhtä suuret mitoituslämpötiloilla 35 - 30 °C ja 40 -
30 °C, mutta mitoituslämpötiloilla 30 - 25 °C maalämpöpumpulla E-luku on noin 16
kWhE/m²,a matalampi.

5.2.4 Uusiutuva omavaraisenergia

Uusiutuvalla omavaraisenergialla saadaan pienennettyä ostoenergiankulutusta ja E-lukua. Tässä kappaleessa esitetään aurinkopaneeleilla tuotetun aurinkosähkön sekä aurinkokeräimillä tuotetun käyttöveden lämmittämiseen käytettävän lämpöenergian vaikutusta rakennuksen E-lukuun. Käytettävien aurinkopaneelien vuodessa tuottama sähköenergian määrän laskeminen on esitetty kappaleessa 4.2.4. Aurinkokeräimillä saadun lämmitysenergian sekä aurinkolämpöjärjestelmän pumppujen kuluttaman vuosittaisen sähköenergian määrän laskeminen on esitetty myös kohdassa 4.2.4. Rakennuksen E-luku aurinkosähköä ja aurinkolämpöä käytettäessä on esitetty kuvassa 15 eri lämmitysenergian tuottojärjestelmillä rakennusvaipan perusmallilla.



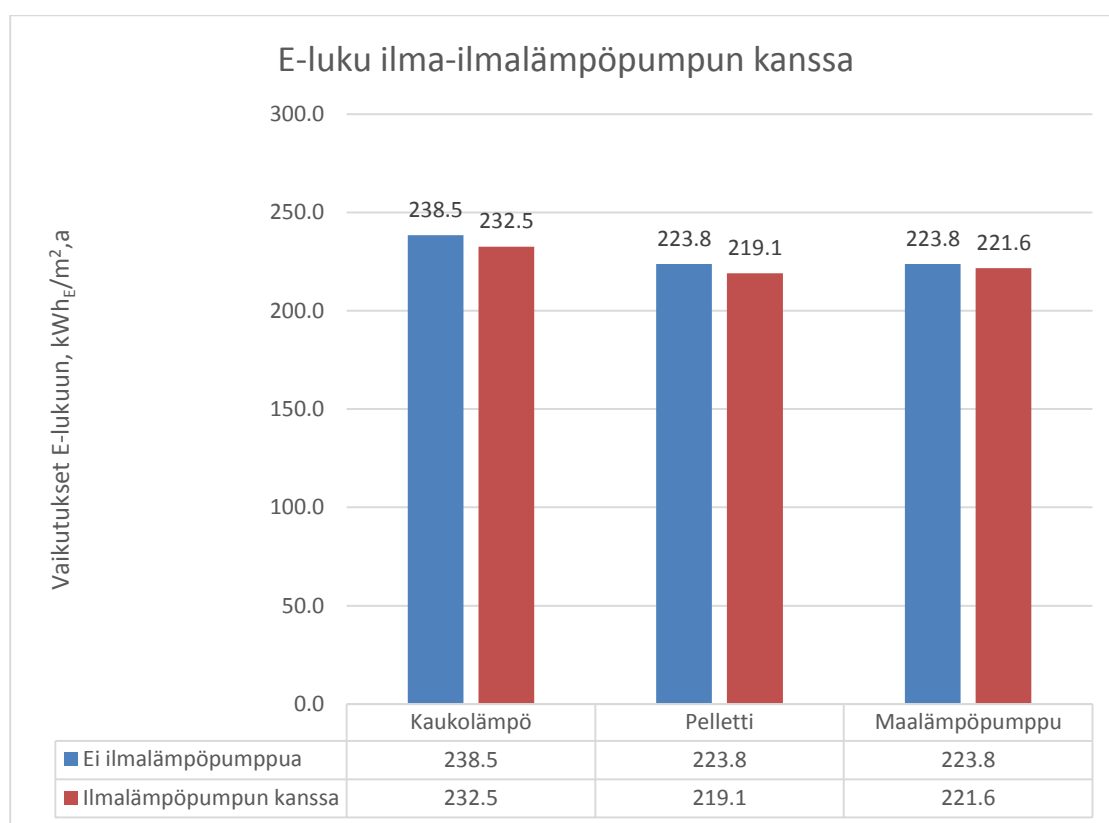
KUVA 15. E-luku aurinkosähköä ja –lämpöä käytettäessä

Aurinkosähköä käytettäessä E-luku pienenee kaikilla lämmitysenergian tuottojärjestel- millä yhtä paljon, noin $38 \text{ kWh}_E/\text{m}^2, \text{a}$. Tämä johtuu siitä, että aurinkosähkön tuottami- nen pienentää ainoastaan sähköenergiankulutusta eikä vaikuta muuhun energiankulu- tukseen.

Aurinkolämpöjärjestelmää käytettäessä käyttöveden lämmittämiseen E-luku pienenee lämmöntuottojärjestelmästä riippuen $5 - 7 \text{ kWh}_E/\text{m}^2, \text{a}$. Eri lämmöntuottojärjestelmiä käytettäessä lämpimän käyttöveden vaikutus E-lukuun vaihtelee lämmöntuottojärjestel- mien hyötysuhteiden ja eri energiamuotokertoimien vuoksi.

5.2.5 Ilmalämpöpumppu

E-lukua laskettaessa ilma-ilmalämpöpumpulla voidaan laskea tuotettavan energiaa 1000 kWh/a . Ilma-ilmalämpöpumpun SPF-lukuna käytetään RakMK osan D5 mukaista arvoa 2,8. Tämä tarkoittaa sitä, että käytettäessä ilma-ilmalämpöpumppua tilojen vuo- sittaisesta nettolämmitysenergian tarpeesta 1000 kWh tuotetaan $1000 \text{ kWh} / 2,8 = 357 \text{ kWh}$ sähköenergialla. Kuvassa 16 on esitetty E-luku ilma-ilmalämpöpumpun kanssa eri lämmöntuottojärjestelmissä.

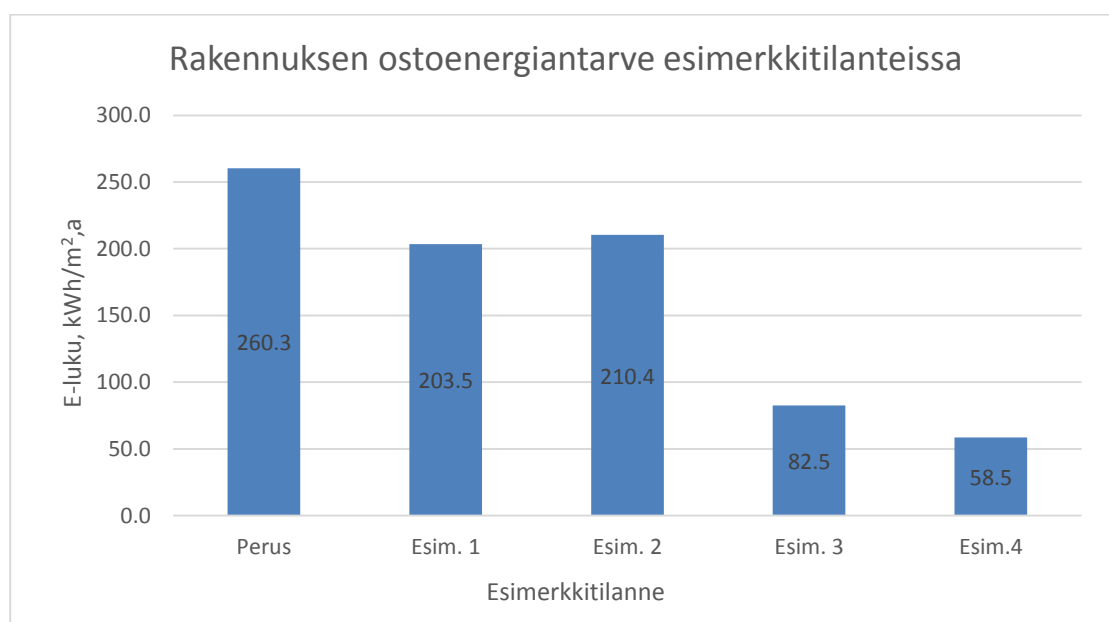


KUVA 16. E-luku ilma-ilmalämpöpumpun kanssa

Lämmöntuottojärjestelmän ollessa kaukolämpö ilma-ilmalämpöpumpun vaikutus E-lukuun on suurin, $6,0 \text{ kWh}_E/\text{m}^2, \text{a}$. Pellettilämmityksellä ilma-ilmalämpöpumpun vaikutus on $4,7 \text{ kWh}_E/\text{m}^2, \text{a}$. Maalämpöpumpulla ilma-ilmalämpöpumpun vaikutus on pienin, $2,2 \text{ kWh}_E/\text{m}^2, \text{a}$.

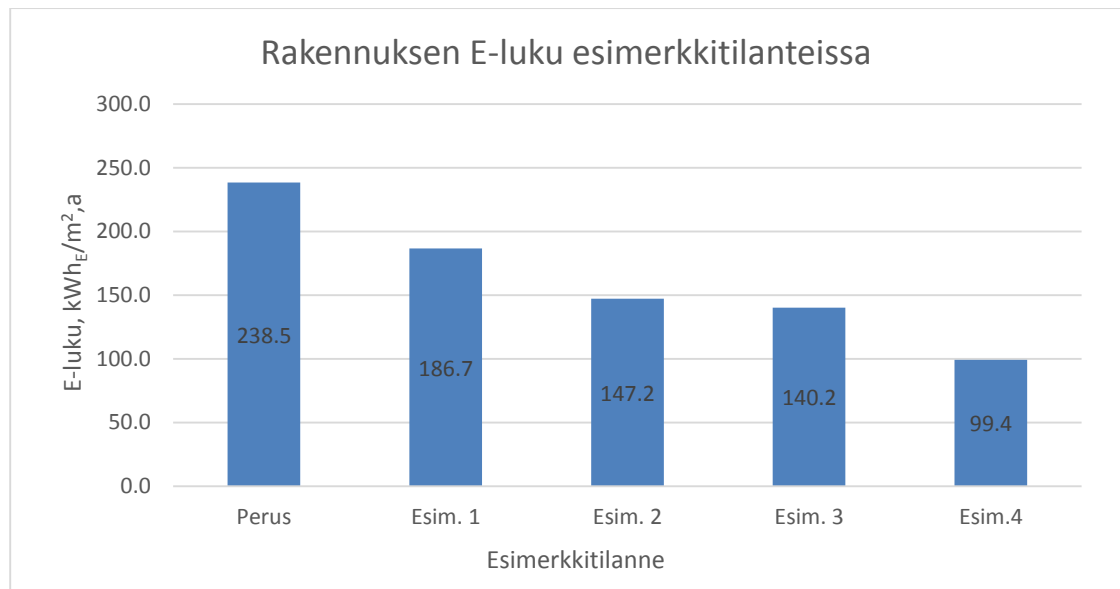
5.3 Useiden tekijöiden yhteisvaikutukset

Tässä kappaleessa esitetään kappaleessa 4.3 kuvattujen esimerkkitalanteiden ostoenergiankulutukset ja E-luvut. Kuvassa 17 on esitetty perusmallin ja kaikkien esimerkkitalanteiden ostoenergiankulutukset ja kuvassa 18 E-luvut. Kappaleissa 5.3.1 - 5.3.5 esitetään kunkin esimerkkitalanteen ostoenergiankulutuksen ja E-luvun jakautuminen.



KUVA 17. Rakennuksen ostoenergiantarve esimerkkitalanteissa

Esimerkkitalanteissa 1 ja 2 ostoenergiankulutukset ovat hieman yli $200 \text{ kWh}/\text{m}^2, \text{a}$. Esimerkkitalanteessa 1 lämmöntuottojärjestelmänä on kaukolämpö ja esimerkkitalanteessa 2 pellettilämmitys. Esimerkkitalanteessa 1 ostoenergiantarve on lähes $60 \text{ kWh}/\text{m}^2, \text{a}$ pienempi kuin perusmallissa, jossa lämmitysjärjestelmänä on kaukolämmitys. Esimerkkitalanteessa 2 ostoenergiantarve on noin $50 \text{ kWh}/\text{m}^2, \text{a}$ pienempi kuin perusmallissa. Esimerkkitalanteessa 3 ostoenergiantarve on noin $180 \text{ kWh}/\text{m}^2, \text{a}$ pienempi kuin perustilanteessa, eli alle kolmasosan siitä mitä perustilanteessa. Esimerkkitalanteessa 4 ostoenergiantarve on noin $24 \text{ kWh}/\text{m}^2, \text{a}$ pienempi kuin esimerkkitalanteessa 3.



KUVA 18. Rakennuksen E-luku esimerkkitalanteissa

Perustilanteessa rakennuksen E-luku on 238,5 kWh_E/m²,a. Esimerkkitalanteen 1 mukaisilla lähtötiedoilla E-luku pienenee yli 50 kWh_E/m²,a. Esimerkkitalanteessa 2 E-luvun pieneminen on hieman yli 90 kWh_E/m²,a perustilanteeseen verrattuna. Esimerkkitalanteessa 3 E-luku on noin 7 kWh_E/m²,a pienempi kuin esimerkkitalanteessa 2. Esimerkkitalanteessa 4 E-luku on lähes 140 kWh_E/m²,a pienempi kuin perustilanteessa.

5.3.1 Esimerkkitalanne 1

Esimerkkitalanteessa 1 rakennuksen vaipan U-arvot ja ilmanvuotoluku ovat matalaenergiatalon mallin mukaiset. Lämmöntalteenottojärjestelmänä on regeneratiivinen lämmöntalteenotto ja ilmanvaihdon SFP-luku 2,0 kW/(m³/s). Lämmöntuottojärjestelmänä on kaukolämpö ja lämmönjakojärjestelmänä lattialämmitys mitoituslämpötiloilla 35/30 °C. Esimerkkitalanteen 1 ostoenergiantarpeen ja E-luvun muodostuminen on esitetty taulukossa 17.

TAULUKKO 17. Ostoenergiantarve ja E-luku esimerkkitalanteessa 1

Esimerkkitalanne 1	Ostoenergiantarve vuodessa			Kokonaisenergia vuodessa		
	kWh	kWh/m ²	%	kWh	kWh _E /m ²	%
Asukkaan sähkö	1455	15.8	7.8	2473	26.9	14.4
Valaistus	647	7	3.5	1099	11.9	6.4
LVI sähkö	961	10.4	5.1	1633	17.8	9.5
Lämmitys, sähkö	1011	11	5.4	1719	18.7	10.0
Lämmitys, KL	10927	118.8	58.4	7649	83.1	44.5
LKV, KL	3724	40.5	19.9	2607	28.3	15.2
Yhteensä	18725	203.5	100.0	17180	186.7	100.0

Kuluttajalaitteiden ja valaistuksen sähköenergiantarve ja lämpimän käyttöveden lämmittämisen tarve pysyvät samoina kuin perustilanteessa. LVI-apulaitteiden sähkönkulutuksen ostoenergiantarve alenee 0,5 kWh/m²,a perustilanteesta. Ilmanvaihdon sähköisen jälkilämmityspatterin kuluttaman ostoenergiantarve tippuu 11,6 kWh/m²,a perustilanteesta, ja sen vaikutus E-lukuun tippuu 19,7 kWh_E/m²a. Sähkölämmityksen vaikutus E-lukuun tippuu noin 50 % perustilanteesta. Tilojen lämmittämiseen tarvittavan kaukolämmön ostoenergiantarve tippuu 44,7 kWh/m²,a, joka vastaa E-luvun tippumisesta 31,3 kWh_E/m²a osuutta. Tilojen lämmittämisestä johtuvan E-luvun vaikutus tippuu perustilanteeseen noin 28 %. Esimerkkitalanteessa 1 rakennuksen E-luku on 186,7 kWh_E/m²a, joka on selvästi alle suurimman sallitun E-luvun 204 kWh_E/m²a.

5.3.2 Esimerkkitalanne 2

Esimerkkitalanteessa 2 rakennuksenvaipan U-arvot ja ilmanvuotoluku ovat passiivitalon mallin mukaiset. Ilmanvaihtokoneena on Vallox 96 MC ja ilmanvaihdon SFP-luku 1,5 kW/(m³/s). Lämmöntuottojärjestelmänä on pellettilämmitys ja lämmönjakojärjestelmänä lattialämmitys mitoituslämpötiloilla 35/30 °C. Esimerkkitalanteen 2 ostoenergiantarpeen ja E-luvun muodostuminen ovat esitetty taulukossa 18.

TAULUKKO 18. Ostoenergiantarve ja E-luku esimerkkitalanteessa 2

Esimerkkitalanne 2	Ostoenergiantarve vuodessa			Kokonaisenergia vuodessa		
	kWh	kWh/m ²	%	kWh	kWh _E /m ²	%
Asukkaan sähkö	1455	15.8	7.5	2473	26.9	18.3
Valaistus	647	7	3.3	1099	11.9	8.1
LVI sähkö	813	8.8	4.2	1383	15	10.2
Lämmitys, sähkö	309	3.4	1.6	525	5.7	3.9
Lämmitys, pelletti	11469	124.6	59.2	5735	62.3	42.3
LKV, pelletti	4667	50.7	24.1	2333	25.4	17.2
Yhteensä	19360	210.4	100.0	13548	147.2	100.0

Kuluttajalaitteiden ja valaistuksen sähköenergiantarve pysyvät samoina kuin esimerkkitalanteessa 1. LVI-apulaitteiden sähkökulutuksen aiheuttama ostoenergiantarve tippuu 1,6 kWh/m²,a esimerkkitalanteesta 1, joka vaikuttaa E-luvun tippumiseen 2,8 kWh_E/m²,a. Ilmanvaihdon sähköisen jälkilämmityspatterin ostoenergiantarve tippuu 7,6 kWh/m²,a, joka vaikuttaa E-luvun tippumiseen 13,0 kWh_E/m²,a. Tilojen lämmitysenergian ostoenergiantarve nousee 5,8 kWh/m²,a, mutta sen E-luku pienenee 20,8 kWh_E/m²,a johtuen pelletin pienemmästä energiamuotokertoimesta. Lämpimän käyttöveden lämmittämiseen tarvittavan energian osuus rakennuksen E-luvusta pienenee 2,0 kWh_E/m²,a esimerkkitalanteesta 1 lämmöntuottojärjestelmän vaihtumisesta johtuen. Rakennuksen E-luku esimerkkitalanteessa 2 on 147,2 kWh_E/m²,a.

5.3.3 Esimerkkitalanne 3

Esimerkkitalanteessa 3 rakennuksen vaipan U-arvot ja ilmanvuotoluku ovat nollaenergiatalon mallin mukaiset. Ilmanvaihtokoneena on Vallox 96 MC ja ilmanvaihdon SFP-luku 1,0 kW/(m³/s). Lämmöntuottojärjestelmänä on maalämpöpumppu ja lämmönjakojärjestelmänä lattialämmitys mitoituslämpötiloilla 35/30 °C. Esimerkkitalanteen 3 ostoenergiantarpeen ja E-luvun muodostuminen ovat esitetty taulukossa 19.

TAULUKKO 19. Ostoenergian tarve ja E-luku esimerkkitalanteessa 3

Esimerkkitalanne 3	Ostoenergiankulutus vuodessa			Kokonaisenergia vuodessa		
	kWh	kWh/m ²	%	kWh	kWh _E /m ²	%
Asukkaan sähkö	1455	15.8	19.2	2473	26.9	19.2
Valaistus	647	7	8.5	1099	11.9	8.5
LVI sähkö	570	6.2	7.5	969	10.5	7.5
Lämmitys, sähkö	3517	38.2	46.3	5980	65	46.3
LKV	1400	15.2	18.4	2381	25.9	18.5
Yhteensä	7589	82.5	100.0	12902	140.2	100.0

Esimerkkitalanteessa 3 E-luku on 7,0 kWh_E/m²a pienempi kuin esimerkkitalanteessa 2. Suurin ero tulee LVI-apulaitteiden käyttämästä sähköstä, jonka vaikutus E-lukuun on 4,4 kWh_E/m²a pienempi esimerkkitalanteessa 3. Ilmanvaihdon ja tilojen lämmittämiseen tarvittavan ostoenergian tarpeen vaikutuksella on pienempi ero, noin 3,0 kWh_E/m²a. Maalämpöpumpun ollessa lämmöntuottojärjestelmänä lämpimän käyttöveden varaajan lämpöhäviöt pysyvät samana kaikissa tilanteissa. Pellettilämmityksessä varaajan lämpöhäviöt otetaan huomioon pellettikattilan vuosihyötysuhteessa, jolloin lämpöhäviöt pienenevät lämmitysenergian tarpeen pienentyessä. Tämän vuoksi ero tilojen lämmittämässä on pieni, vaikka esimerkiksi kaukolämmöllä passiivi- ja nollaenergiatalon mukaisilla ulkovaipoilla ero E-luvussa oli lähes 20 kWh_E/m²a.

5.3.4 Esimerkkitalanne 4

Esimerkkitalanteessa 4 on erona esimerkkitalanteeseen 3 se, että esimerkkitalanteessa 4 on aurinkosähköjärjestelmä sekä ikkunoissa sälekaihtimet. Esimerkkitalanteen 4 ostoenergiankulutus ja E-luku ovat esitetty taulukossa 20.

TAULUKKO 20. Esimerkkitalanteen 4 ostoenergiankulutus ja E-luku

Esimerkkitalanne 4	Ostoenergiankulutus vuodessa			Kokonaisenergia vuodessa		
	kWh	kWh/m ²	%	kWh	kWh/m ²	%
Asukkaan sähkö	1455	15.8	27.0	2473	26.9	27.0
Valaistus	647	7	12.0	1099	11.9	12.0
LVI sähkö	568	6.2	10.6	966	10.5	10.6
Lämmitys, sähkö	3371	36.6	62.6	5730	62.3	62.6
LKV	1400	15.2	26.0	2381	25.9	26.0
Aurinkosähkö	-2059	-22.4	-38.3	-3500	-38	-38.3
Yhteensä	5382	58.5	100.0	9149	99.4	100.0

Lämmityksen ostoenergiantarve pienenee $1,6 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ja E-luku pienenee tämä vaikutuksesta $2,7 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{a}$ esimerkkitilanteeseen 3 verrattuna. Tämä muutos johtuu siitä, että esimerkkitilanteessa 4 ei ole sälekaihtimia, jotka estävät auringonsäteiden pääsyä ikkunoiden läpi. Auringonsäteet lämmittävät rakennusta enemmän ja lämmitysenergiantarve pienenee. Aurinkosähkö pienentää ostoenergiankulutusta $22,4 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ja E-lukua $38,0 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{a}$ esimerkkitilanteeseen 3 verrattuna. Esimerkkitalanteessa 4 rakennuksen E-luku on $99,4 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{a}$.

6 TULOSTEN TARKASTELU

Rakennuksen vaipan lämpöhäviöistä ikkunoilla on merkittävin osa rakennuksen E-lukuun. Valitsemalla rakennukseen nollaenergiatalon mallin ikkunat saadaan eniten rakennusvaipan osista eniten energiansäästöä perusmalliin verrattuna. Mikäli rakennuksen ikkunapinta-ala ei olisi niin suuri, ulkoseinien nollaenergiatalon mallin mukaisella eristämällä olisi mahdollista saada yhtä suuret tai suuremmat energiasäästöt kuin ikkunoiden muuttamisen avulla. Nyt nollaenergiatalon mallin mukaisten ikkunalasien avulla E-lukua saadaan laskettua $22,4 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{a}$ ja ulkoseinien rakenteiden avulla $15,7 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{a}$. Alapohjan eristämällä nollaenergiatalon mallin mukaisesti E-luku pienenee $9,3 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{a}$, noin puolet siitä, mitä ulkoseinien eristämällä vastaavan mallin mukaisesti. Rakennusvaipan ilmatiiviydellä päästään suunnilleen samaan lukemaan, E-luku pienenee $7,5 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{a}$ nollaenergiatalon mallin tiiviydellä. Ulko-ovien vaikutus E-lukuun nollaenergiatalon mallin ovilla on $5,7 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{a}$. Rakennuksessa on 3 ulko-ovea, joten energiatehokkailla ovilla on helppo vaikuttaa rakennuksen E-lukuun. Yläpohjan lisäeristämisen osuus on melko pieni muihin verrattuna. Perusmallissa yläpohjassa on 425 mm villaa ja lisäämällä villaa 250 mm, jolloin yläpohja U-arvo on nollaenergiatalon mallin mukainen, rakennuksen E-luku pienenee $3,4 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{a}$.

Lämmöntalteenottojärjestelmän vaikutukset E-lukuun ovat suuret, sillä jälkilämmityspatteri on sähköpatteri. Mikäli käytettäisiin vesikiertoista jälkilämmityspatteria, vaikutus E-lukuun olisi huomattavasti matalampi. Kaukolämmityksen energiamuotokerroin on 0,7 ja sähkön 1,7. Kaukolämmönsiirtimen hyötysuhde on 0,94 ja sähköllä hyötysuhde on 1,0. Sähkölämmitteisellä patterilla vaikutus olisi noin $(0,7/1,7) * (1,0/0,94) = 0,4$ -kertainen verrattuna vesikiertoiseen patteriin lämmöntuoton ollessa kaukolämpö.

Regeneratiivisella lämmönsiirtimellä vaikutus E-lukuun olisi alle $10 \text{ kWh}_E/\text{m}^2$, ja ilmanvaihtokoneella Vallox 96 MC alle $15 \text{ kWh}_E/\text{m}^2$, ja jos jälkilämmityspatteri olisi sähköinen. Ilmanvaihtokoneen ominaissähköteho on olennainen osa ilmanvaihtojärjestelmän vaikutusta rakennuksen energiatehokkuuteen, mutta suurta vaikutusta rakennuksen E-lukuun sillä ei ole.

Pellettikattilan hyötysuhde on alhaisempi kuin kaukolämmönsiirtimen, jonka vuoksi pellettilämmityksen ostoenergiankulutus on alhaisempi kuin kaukolämmöllä. Maalämpöpumpun SPF-luvut ovat korkeita, jonka vuoksi maalämpöpumpun ollessa lämmöntuottojärjestelmä ostoenergiantarve on selvästi alhaisempi kuin kaukolämmöllä ja pellettilämmityksellä. Nykyisillä energiamuotokertoimilla laskettuna E-luku on kaukolämmöllä suurempi kuin maalämpöpumpulla ja pellettilämmityksellä.

Maalämpöpumpulla E-luku ja ostoenergiankulutus laskee mitoituslämpötiloilla 30/25 °C enemmän kuin muilla lämmöntuottojärjestelmillä, sillä maalämpöpumpun kausisuo-rituskykykerroin suurenee menoveden lämpötilan laskiessa, mutta pellettilämmityksellä pellettikattilan ja kaukolämmöllä lämmönsiirtimen vuosihyötysuhteen oletetaan olevan vakio kaikissa tilanteissa.

Aurinkosähköllä on suuri vaikutus E-lukuun varsinkin tulevaisuudessa, kun rakennusten lämmitysenergian kulutukset pienenevät, jolloin sähköenergian vaikutus E-lukuun korostuu. Aurinkolämmön vaikutus ei millään lämmöntuottojärjestelmällä ole kovin suuri. Mikäli aurinkolämmön osuus käyttöveden lämmittämisestä lasketaan tarkem- malla menetelmällä kuin RakMK osan D5 mukaisesti, vaikutus olisi selvästi suurempi. Siinä tapauksessa aurinkoenergian osuus lämpimän käyttöveden lämmitysenergiasta saa olla suurempi kuin nyt käytetty 40 %. Ilma-ilmalämpöpumpun vaikutus E-lukuun ei ole suuri, mutta varsinkin kaukolämmön ja pellettilämmityksen ollessa lämmöntuot- tojärjestelmänä se on merkittävä.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Rakennusten energiatehokkuuteen pystytään vaikuttamaan monilla eri rakenteellisilla ja taloteknisillä ratkaisuilla. Muuttamalla ulkovaipan rakenteita paremmin eristäviksi ja

tiivimmiksi pystytään vaikuttamaan tilojen lämmitysenergian nettokulutukseen. Matalat ikkunoiden g-arvot ja sälekaihtimet pienentävät rakennuksen sisälle tulevaa auringon lämmitysenergiaa. Ilmanvaihdon lämmöntalteenottoratkaisulla voidaan vaikuttaa tuloilman lämmittämiseen tarvittavan lämmitysenergian nettokulutukseen. Lämmitysenergian tuottotapa ja lämmönjakojärjestelmän mitoituslämpötilat vaikuttavat ostoenergian tarpeeseen, koska eri lämmöntuotto- ja jakotavoilla on erilaiset hyötysuhteet, lämpöhäviöt ja sähköenergian kulutukset. Eri lämmitysenergian tuottotavoilla on eri energiamuotokertoimet, jotka vaikuttavat E-lukuun. Rakennuksessa voi olla ilma-ilmalämpöpumppu, joka vaikuttaa rakennuksen ostoenergiankulutukseen ja E-lukuun. Uusiutuvilla omavaraisenergioilla, esimerkiksi aurinkosähköllä ja –lämmöllä, on mahdollista pienentää rakennuksen ostoenergiakulutusta ja E-lukua.

Rakennuksen perusmallissa, jossa lämmöntalteenoton vuosihyötysuhde, rakennusvaiipan ilmanvuotoluku ja rakenteiden U-arvot ovat RakMK osan D3 vertailulämpöhäviöiden laskennassa käytettäviä arvoja vastaavat, E-luku on $238,5 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{,a}$, joka on $34,5 \text{ kWh}_E/\text{m}^2\text{,a}$ vaatimusten mukaista pientalon suurinta sallittua E-lukua suurempi. Syitä näin korkeaan E-luvun vaatimuksen ylittämiseen ovat rakennuksen muoto ja rakennuksen suuret ikkunat. Rakennuksessa on kaksi osaa, jonka vuoksi ulkoseinien pinta-alaa on enemmän lämmitettyä nettoalaa kohti kuin tavallisessa, yksiosaisessa rakennuksessa. Lisäksi rakennus on melko korkea, rakennuksen toisen osan korkeammassa päässä korkeus lattiasta kattoon on yli 5 metriä. Tämä lisää myös ulkoseinäpinta-alaa suhteessa lämmitettyyn nettoalaan matalampiin huonekorkeuksiin verrattuna. Ikkunoita rakennuksessa on noin 50 % rakennuksen lattian pinta-alasta, mikä on paljon. Rakennuksen vertailulämpöhäviöitä laskettaessa käytetään ikkunapinta-alan vertailuarvona 15 % rakennuksen kerrostasoalojen summasta. Suuret ulkoseinäpinta-alat ja varsinkin suuret ikkunapinta-alat ovat suurimmat syyt rakennuksen korkeaan E-lukuun perusmallissa.

Rakennusvaiipan ilmatiiveyden ja yksittäisten osien lämmöneristävyyden parantamisella on mahdollista pienentää ostoenergian tarvetta ja E-lukua. Eniten rakennuksen energiatehokkuutta on mahdollista parantaa ulkoseinien hyvällä eristämällä ja energiatehokkaat ikkunat valitsemalla. Ulkoseinien vaikutus on suuri, koska ne ovat selvästi suurin yksittäinen rakennusvaiipan osa. Ikkunoiden U-arvot ovat korkeat muihin rakennusvaiipan osiin verrattuna, jonka vuoksi energiatehokkailla ikkunoilla on mahdollista pienentää E-lukua paljon. Tässä rakennuksessa ikkunoilla saavutettavat energiasäästöt

ovat erityisen suuret suurista ikkunapinta-aloista johtuen. Muilla rakennusvaipan osilla ei ole kovin suurta vaikutusta E-lukuun, mikäli käytetään vähintään matalaenergiatalon mallin mukaisia rakenteita. Rakennusvaipan osien yhteisvaikutukset pienentävät E-lukua huomattavasti kaikilla eri rakennusvaipan malleilla. Suurin yksittäinen ero on perusmallin ja matalaenergiatalon mallin välillä, mutta myös matalaenergiatalon ja passiivitalon mallin sekä passiivitalon ja nollaenergiatalon mallin välillä on suuret erot.

Ilmanvaihdon lämmöntalteenottojärjestelmällä on suuri vaikutus E-lukuun, mikäli ilmanvaihtojärjestelmässä on sähköinen jälkilämmityspatteri. E-lukua laskettaessa kannattaa selvittää valmistajalta varmennettu lämpötilasuhte sekä alin mahdollinen jäteilman lämpötila, joita käyttää laskelmissa. Käyttämällä RakMK osan D5 eri lämmönsiirrintyyteille antamia ohjearvoja lämpötilasuhteelle ja jäteilman minimilämpötilalle E-luku saattaa olla huomattavasti korkeampi kuin käytettäessä todellisia arvoja. Jos ilmanvaihtokoneena on Vallox 96 MC, todellisella tuloilman lämpötilasuhteella ja jäteilman minimilämpötilalla laskettuna E-luku on lähes $20 \text{ kWh}_E/\text{m}^2$, a matalampi kuin se olisi D5 mukaisilla vastaristivirtalämmönsiirtimen lämpötilasuhteella ja jäteilman minimilämpötiloilla laskettaessa.

Lämmöntuottojärjestelmällä ja lattialämmityksen mitoituslämpötiloilla on kohtalainen vaikutus rakennuksen E-lukuun. Perusmallissa kaukolämmöllä E-luku on selvästi korkeampi kuin maalämpöpumppua tai pellettilämmitystä käytettäessä. Maalämpöpumppulla ja pellettilämmityksellä E-luvut ovat suunnilleen yhtä suuret lukuun ottamatta mitoituslämpötiloja $30/25 \text{ }^\circ\text{C}$. Tämä johtuu siitä, että maalämpöpumpun SPF-luku kasvaa menoveden lämpötilan laskiessa. Rakennuksen lämpöhäviöiden pienentyessä lämmöntuottojärjestelmien ja mitoituslämpötilojen erot pienenevät, sillä tilojen lämmitysenergian tarve pienenee. Perustilanteen rakennusvaipan rakenteilla erot ovat siis suuremmat, kuin ne olisivat esimerkiksi passiivitalon mallin rakennusvaipan rakenteilla. Lisäksi pienemmillä lämmitysenergian tarpeilla lämmöntuottojärjestelmän ollessa kaukolämpö tai pellettilämmitys E-luku pienenee enemmän suhteessa maalämpöpumppuun, sillä lämmöntuottojärjestelmän ollessa maalämpöpumppu tarvitaan erillinen lämminvesivaraaja, jonka lämpöhäviöt ovat kaikissa tilanteissa samat. Pellettilämmityksessäkin tarvitaan varaaja, mutta varaajan häviöt kuuluvat pellettikattilan RakMK osan D5 mukaiseen vuosihyötysuhteeseen, jolloin varaajan häviöt pienenevät lämmitysenergian tarpeen pienentyessä.

Ilmalämpöpumpun avulla E-luku pienenee hieman kaikilla lämmöntuottojärjestelmillä. Eniten E-luku tippuu kaukolämmöllä, sillä kaukolämmön energiamuotokertoimen ja lämmöntuotannon hyötysuhteen osamäärä (0,74) on suurempi kuin uusiutuvan polttoaineen energiamuotokertoimen ja pellettikattilan hyötysuhteen osamäärä (0,67) tai sähkön energiamuotokertoimen ja maalämpöpumpun tilojen lämmittämisen SPF-luvun osamäärä (0,52). Nämä osamäärät kertovat, kuinka paljon lämmöntuottojärjestelmän tuottama energia vaikuttaa E-lukuun. Ilma-ilmalämpöpumppu pienentää E-lukua siis eniten, kun kaukolämpö on lämmöntuottojärjestelmä ja vähiten kun maalämpöpumppu on lämmöntuottojärjestelmänä.

Aurinkosähköllä on mahdollista tiputtaa E-lukua todella paljon. Länteen päin alle 30° kulmaan asennettavilla 29 m² kokoisilla aurinkopaneeleilla aurinkoenergiaa RakMK osan D5 ohjeistuksella laskemalla saadaan tuotettua vuodessa 2059 kWh sähköenergiaa. E-luku tällä tuotetulla sähköenergian määrällä tippuu 38 kWh_E/m²,a. Paremmalla suuntauksella ja suuremmilla paneeleilla energiasäästöjä on mahdollista saada enemmän. Käyttöveden lämmittämisellä aurinkolämmöllä on mahdollista pienentää E-lukua pienissä määrin, mikäli aurinkolämmön osuus tehdään D5-ohjeistuksella, jolloin voidaan laskea aurinkoenergian kattavan 40 % käyttöveden lämmittämiseen tarvittavasta energiamäärästä. Suurimmat vaikutukset saadaan kaukolämmön ollessa lämmitysjärjestelmänä, sillä ilman aurinkolämpöä käyttöveden lämmittämisen vaikutus E-lukuun (28,3 kWh_E/m²,a) on suurempi kuin lämmöntuottojärjestelmän ollessa maalämpöpumppu (25,9 kWh_E/m²,a) tai pellettilämmitys (25,4 kWh_E/m²,a).

Rakennukset on jaettu energiatehokkuusluokkiin A-G niiden E-luvun mukaan. Energiatehokkuusluokan A rakennus on energiatehokkain. Uudisrakennuksen tulee olla vähintään energiatehokkuusluokkaa C. Lämmitettävältä nettoalaltaan alle 120 m² pientalon energiatehokkuusluokan C yläraja on sama 204 kWh_E/m²,a, joka on taulukon 3 mukaan suurin sallittu E-luku alle 120 m² pientalolle. Taulukossa 21 on esitetty nettoalaltaan alle 120 m² pientalon energiatehokkuusluokkien mukaiset E-luvut. [17.]

TAULUKKO 21. Nettoalaltaan alle 120 m² pientalon energiatehokkuusluokat [17, s. 17.]

$$A_{\text{netto}} < 120 \text{ m}^2$$

Energiatehokkuusluokka	Kokonaisenergiankulutus, E-luku (kWh _E /m ² vuosi)
A	E-luku ≤ 94
B	95 ≤ E-luku ≤ 164
C	165 ≤ E-luku ≤ 204
D	205 ≤ E-luku ≤ 284
E	285 ≤ E-luku ≤ 414
F	415 ≤ E-luku ≤ 484
G	485 ≤ E-luku

Perustilanteessa E-luku on 238,5 kWh_E/m²,a, eli perustilanteen mukainen pientalo kuuluu energiatehokkuusluokkaan D. Perustilanteen mukainen pientalo ei täytä uudisrakennuksen energiatehokkuuden vaatimuksia E-luvun osalta, vaan ylittää suurimman sallitun E-luvun arvon reilusti. Yksittäisistä toimenpiteistä muuttamalla rakennusvaippa passiivitalon mallia vastaavaksi tai energiatehokkaammaksi E-luvun vaatimus toteutuisi. Matalaenergiatalon mallin mukaisella rakennusvaipalla tai vaihtamalla ilmanvaihtokoneeksi Vallox 96 SW E-luku olisi hieman sallittua arvoa suurempi.

Esimerkkitalanteessa 1 muuttamalla rakennusvaippa matalaenergiatalon mallin mukaiseksi ja valitsemalla taloon regeneratiivinen lämmöntalteenotto E-luku tippuu arvoon 186,7 kWh_E/m²,a. Rakennus kuuluu näillä muutoksilla energiatehokkuusluokkaan C, eli se täyttää uudisrakennuksen E-luvun vaatimuksen.

Esimerkkitalanteiden 2 ja 3 mukaisilla ratkaisuilla saavutetaan energiatehokkuusluokka B. Esimerkkitalanteessa 3 ei päästä kuitenkaan lähellekään energiatehokkuusluokkaa A, vaikka rakennusvaippa on nollaenergiatalon mallin mukainen, ilmanvaihtokoneena on Vallox 96 SW ja lämmöntuottojärjestelmänä maalämpöpumppu. Esimerkkitalanteessa 4 lisäämällä sälekaihtimet ikkunoihin ja tuottamalla aurinkosähköä 2059 kWh vuodessa rakennus on energiatehokkuusluokassa B, mutta noin 5 kWh_E/m²,a päässä energiatehokkuusluokan A rajasta.

Energiatehokkuusluokkaan C on mahdollista päästä melko pienillä muutoksilla. Pientalossa, jossa ikkunapinta-alaa ja ulkoseinäpinta-alaa ei ole näin paljon suhteessa lattia-

pinta-alaan, E-luku olisi jo perusmallin mukaisilla ratkaisuilla lähellä energiatehokkuusluokkaa C, jolloin vaatimuksen täyttäminen olisi mahdollista vielä pienemmillä muutoksilla perusmalliin. Energiatehokkuusluokkaan B ei ole mahdollista päästä yksittäisillä muutoksilla. Muutoksia täytyy tehdä sekä rakenteissa että talotekniikassa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että ulkovaipan rakenteiden U-arvojen täytyy olla vertailuarvoja pienemmät ja ilmanvaihdon lämmöntalteenottoratkaisun tulee olla selvästi vertailuratkaisua energiatehokkaampi. Lämmitysenergian tuottotavan ollessa maalämpöpumppu tai pellettilämmitys rakennusvaipan ja lämmöntalteenottojärjestelmän ei tarvitse olla niin energiatehokkaat kuin kaukolämmöllä. Energiatehokkuusluokkaan A ei ole mahdollista päästä käyttämättä uusiutuvalla omavaraisenergialla tuotettua sähköenergiaa. E-luvun jäädessä lähelle tavoiteltavasta rajasta, pieniä muutoksia E-lukuun on mahdollista saada ilma-ilmalämpöpumpulla, käyttöveden lämmittämiseen kuluvan energian tuottamisella aurinkolämmöllä ja laskemalla E-luku käyttämättä ikkunoissa sälekaihtimia.

Rakennuksen ostoenergiankulutukseen ja E-lukuun vaikuttavat monet eri tekijät. Yksittäisten tekijöiden muuttaminen vaikuttaa eri rakennuksissa ja eri tilanteissa eri tavalla, ja kaikissa rakennuksissa ei samojen muutosten tekeminen ole järkevää tai edes mahdollista. Jokaisessa rakennuksessa tulee yksilöllisesti tutkia tilannetta ja pohtia rakennukseen sopivimmat ratkaisut tarvittavan energiatehokkuuden saavuttamiseksi.

Vaadittuun energiatehokkuuteen on mahdollista päästä monilla eri ratkaisuilla, joten vaadittu energiatehokkuus on mahdollista saavuttaa mahdollisimman kustannustehokkaasti. Tämä on tulevaisuudessa vaatimuksiin voimaantulevien lähes nollaenergiatalojen ajatuksen ydin; investointikustannukset ja käyttökustannukset tulee optimoida siten, että rakennuksista saadaan mahdollisimman pienillä investoinnilla elinkaarikustannuksiltaan matalia.

Tässä opinnäytetyössä oli tavoitteena tutkia rakenteellisten ja taloteknisten ratkaisujen vaikutusta pientalon ostoenergiantarpeeseen ja E-lukuun. Työssä on tutkittu rajattujen tekijöiden yksittäisiä vaikutuksia ostoenergiantarpeeseen ja E-lukuun ja esitetty muutama esimerkkiratkaisu, joiden energiatehokkuutta on tutkittu. Työn tulokset ovat tarkkoja ainoastaan tässä kohteessa. Muihin pientaloihin tuloksia voidaan käyttää apuna suuntaa-antavasti, koska kaikki rakennukset ovat yksilöllisiä.

LÄHTEET

1. Kurnitski, Janek. 2012. Energiämääräykset 2012. Sastamala: Vammalan kirjapaino Oy.
2. Ympäristöministeriö. D3 Suomen rakentamismääräyskokoelma. PDF-dokumentti. http://www.finlex.fi/data/normit/37188-D3-2012_Suomi.pdf.
3. Energiatehokas koti. 2016. Hyvä tietää. WWW-dokumentti. http://www.energiatehokaskoti.fi/perustietoa/hyva_tietaa. Päivitetty 15.3.2016. Luettu 15.3.2016.
4. Passiivi.info. Passiivitalon määritelmä. WWW-dokumentti. <http://www.passiivi.info/data.php?sivu=maarittely>. Päivitetty 28.3.2016. Luettu 28.3.2016.
5. Sepponen, Nieminen, Tuominen, Kouhia, Shemeikka, Viikari, Hemmilä ja Nykänen 2013. Lähes nollaenergiatalon suunnitteluohjeet. PDF-dokumentti. https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/41558/ARARA_2_2013_Lahes_nollaenergiatalon_suunnittelu.PDF?sequence=1. Luettu 6.4.2016.
6. Ympäristöministeriö. Lähes nollaenergiatalon lainsäädännön valmistelu. WWW-sivut. <http://www.ym.fi/lahesnollaenergiarakentaminen>. Päivitetty 20.4.2016. Luettu 20.4.2016.
7. EQUA Simulation AB. WWW-dokumentti. <http://www.equa.se/fi/ida-ice>. Päivitetty 14.4.2016. Luettu 14.4.2016.
8. Ympäristöministeriö. D5 Suomen rakentamismääräyskokoelma. PDF-dokumentti. <http://www.ym.fi/download/noname/%7B8C5C3B41-E127-4889-95B0-285E9223DEE6%7D/40468>.
9. Vertia Oy. 2016. Ilmatiiveys ja vuotokohdat uusissa rakennuksissa 4/2015. PDF-dokumentti. <http://vertia.fi/wp-content/uploads/2016/03/Ilmatiiveys-ja-vuotokohdat-uusissa-rakennuksissa-2015-4.pdf>. Päivitetty 17.1.2016. Luettu 15.3.2016.

10. Kingspan Insulation Oy. Passiivipientalojen suunnitteluohjeet. WWW-dokumentti. <http://www.spu.fi/suunnittelu/suunnitteluohjeet/passiivipientalo/>. Päivitetty 28.3.2016. Luettu 28.3.2016.
11. VTT Expert Services Oy. 2013. Setrifikaatti Nro VTT-C-10047-13. PDF-dokumentti. http://www.vallox.com/files/89/Vallox_096MC_SE_VTT_C_10047_13.pdf. Luettu 24.3.2016.
12. Suomi rakentaa. Lämmitysjärjestelmän valinta. WWW-dokumentti. <http://www.suomirakentaa.fi/korjaaja/laemmitys/laemmitysjaerjestelmaen-valinta>. Päivitetty 28.3.2016. Luettu 28.3.2016.
13. Energiateollisuus ry 2014. Rakennusten kaukolämmitys, määräykset ja ohjeet, julkaisu K1/2013. PDF-dokumentti. Päivitetty 9.5.2014. Luettu 13.4.2016.
14. Ympäristöministeriö. Lämpöpumppujen energialaskentaopas. PDF-dokumentti. <http://www.ym.fi/download/noname/%7B10A732A6-EA2F-45F9-869C-6F909138CB26%7D/30757>. Luettu 28.3.2016.
15. Motiva. Pellettilämmitys. WWW-dokumentti. http://www.motiva.fi/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/lammitysmuodot/pellettilammitys. Päivitetty 29.3.2016. Luettu 29.3.2016.
16. Areva Solar. Yrityksen WWW-sivut. <http://www.arevasolar.fi/fi/yritysjamaatilapaketit>. Päivitetty 2.4.2016. Luettu 2.4.2016.
17. Suomen säädöskokoelma 176/2013. LVI YM-00513 Ympäristöministeriön asetus rakennuksen energiatodistuksesta. PDF-Dokumentti. www.rakennustieto.fi. Luettu 13.4.2016.

Rakennuksen sisäänsyöttötiedot perustilanteessa

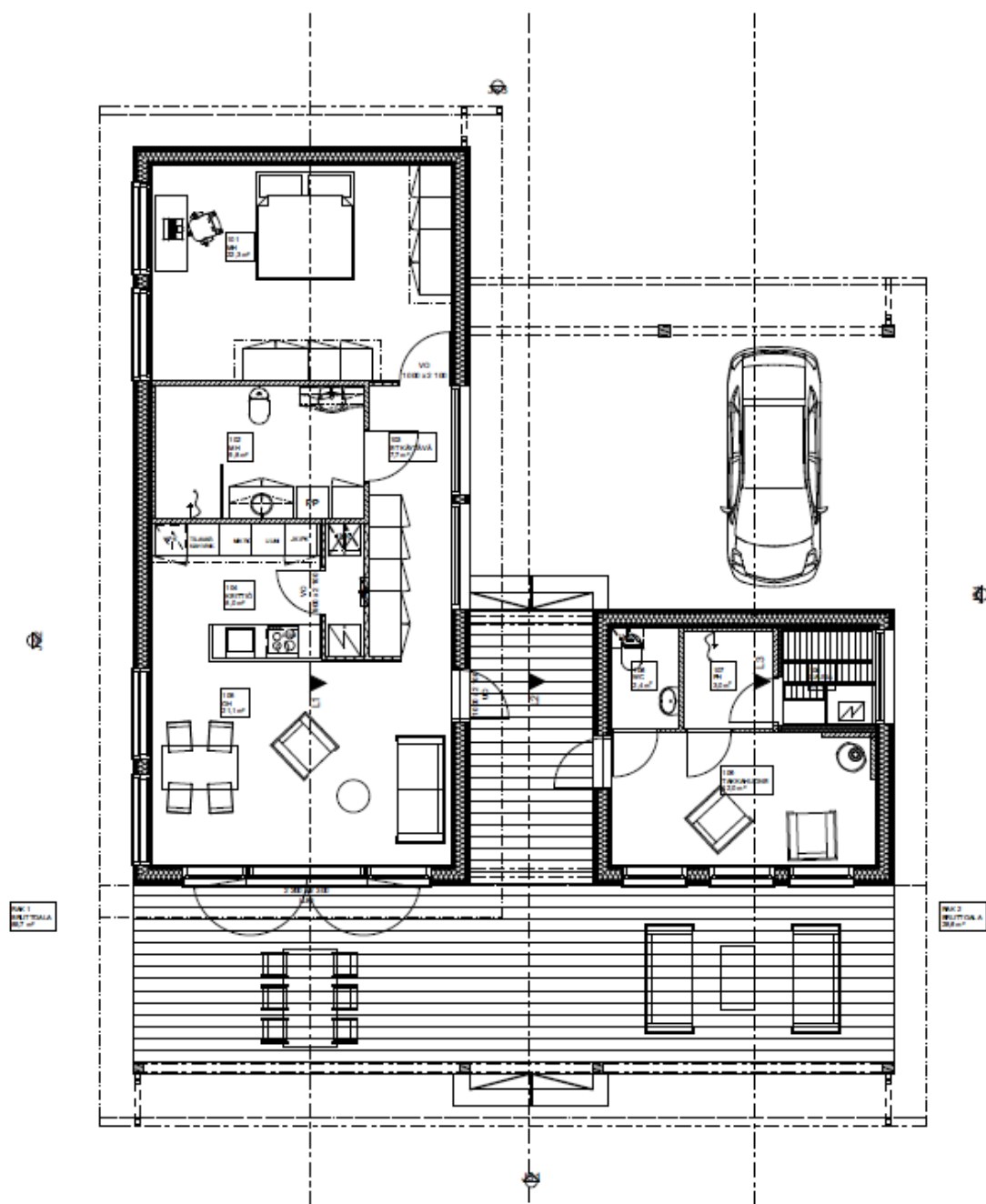
 SIMULATION TECHNOLOGY GROUP		Sisäänsyöttötiedot	
Projekti		Rakennus	
		Mallin lattia-ala	92.0 m ²
Asiakas		Mallin tilavuus	356.8 m ³
Vastuuhenkilö	Janne	Mallin maaperän pinta-ala	92.0 m ²
Sijainti	Helsinki (Ref 2012)	Mallin vaipan ala	393.8 m ²
Säätiesto	HKI-Vantaa_Ref_2012	Ikkuna/Vaippa	11.9 %
Tapaus	PERUSMALLI	Keskimääräinen U-arvo	0.3041 W/(K·m ²)
Simuloitu	4/6/2016 11:55:37	Vaipan alan suhde tilavuuteen	1.103 m ² /m ³

Kiinteä vuotoilmamäärä

6.250 l/s

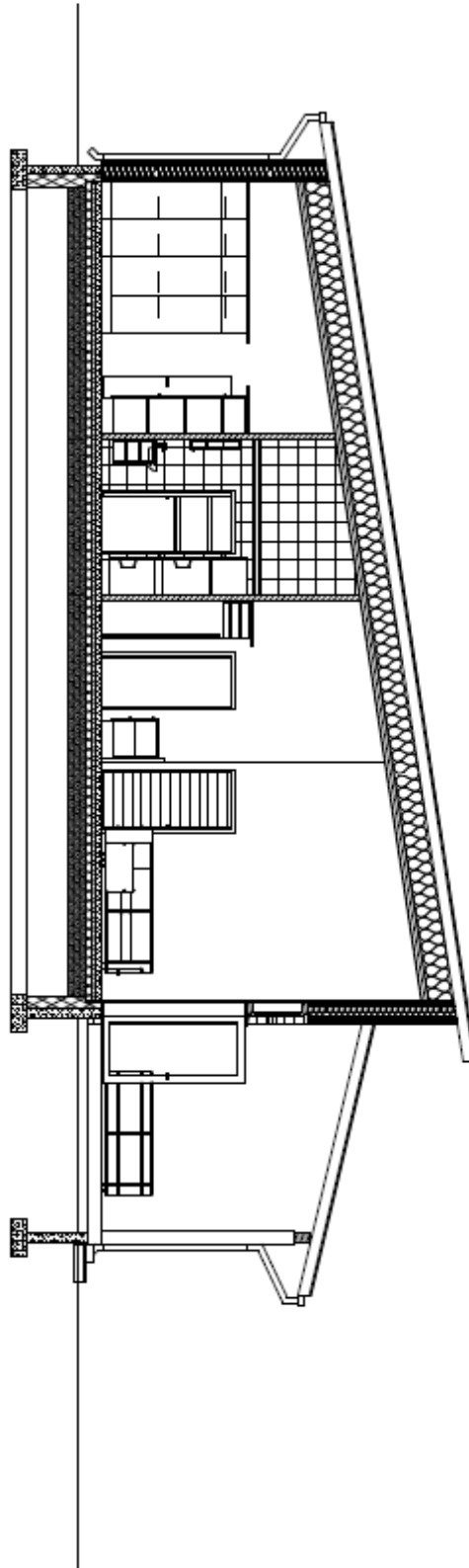
Rakennuksen vaippa	Ala [m ²]	U [W/(K m ²)]	U*A [W/K]	% kokon.
Seinät maanp. yläpuol.	152.76	0.17	25.97	21.68
Seinät maanp. alapuol.	0.00	0.00	0.00	0.00
Katto	93.08	0.09	8.39	7.00
Maavarainen lattia	92.01	0.16	14.31	11.95
Lattia ulkoilmaan	0.00	0.00	0.00	0.00
Ikkunat	46.66	1.00	46.71	39.00
Ulko-ovet	9.26	1.01	9.32	7.78
Kylmäsillat			15.08	12.59
Yhteensä	393.77	0.30	119.77	100.00

Kylmäsillat	Pinta-ala tai pituus	Keskim lämmönjohtuvuus	Kokonais [W/K]
Ulkoseinä / alapohja	0.00 m	0.025 W/(K m)	0.000
Ulkoseinä / sisäseinä	47.17 m	0.000 W/(K m)	0.000
Ulkoseinä / ulkoseinä	29.12 m	0.060 W/(K m)	1.747
Ulkoikkunoiden ympärysmitta	104.73 m	0.040 W/(K m)	4.189
Ulko-ovien ympärysmitta	21.40 m	0.040 W/(K m)	0.856
Katto / ulkoseinät	55.50 m	0.050 W/(K m)	2.775
Alapohja / ulkoseinä	55.10 m	0.100 W/(K m)	5.510
Parvekkeen lattia / ulkoseinä	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Alapohja / sisäseinä	40.92 m	0.000 W/(K m)	0.000
Ulkokatto / sisäseinä	41.05 m	0.000 W/(K m)	0.000
Ulkoseinä, sisänurkka	0.00 m	0.000 W/(K m)	0.000
Ulkoseinät	393.77 m ²	0.000 W/(K m ²)	0.000
Ylimääräiset häviöt	-	-	-0.000
Summa	-	-	15.077



Pohja-, julkisivu- ja leikkauskuvia ja mallinäkymiä

L1



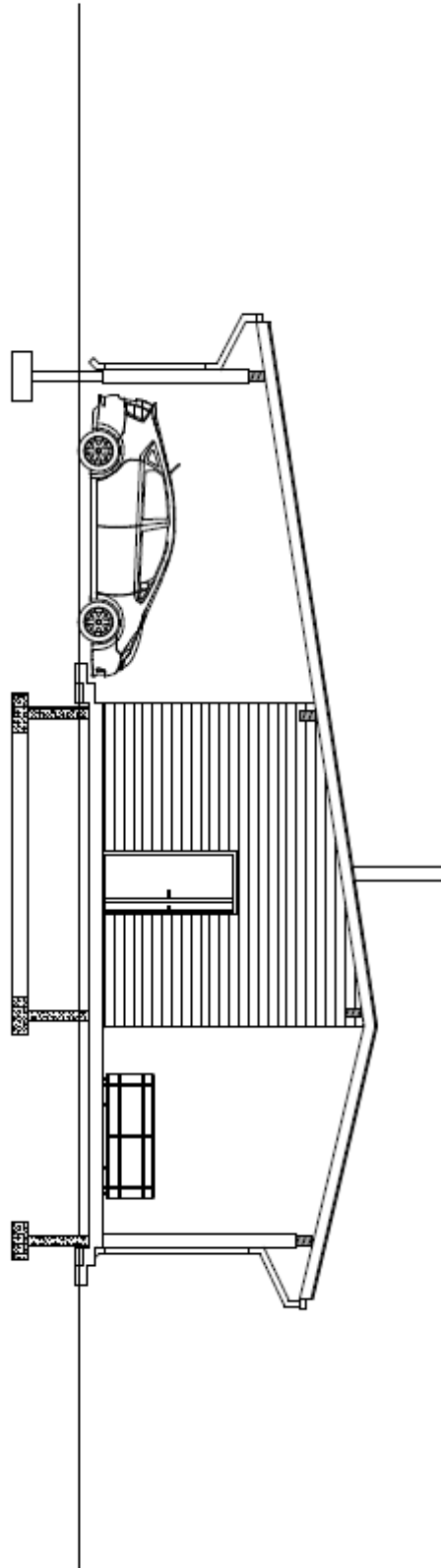
Leikkaus

1:100

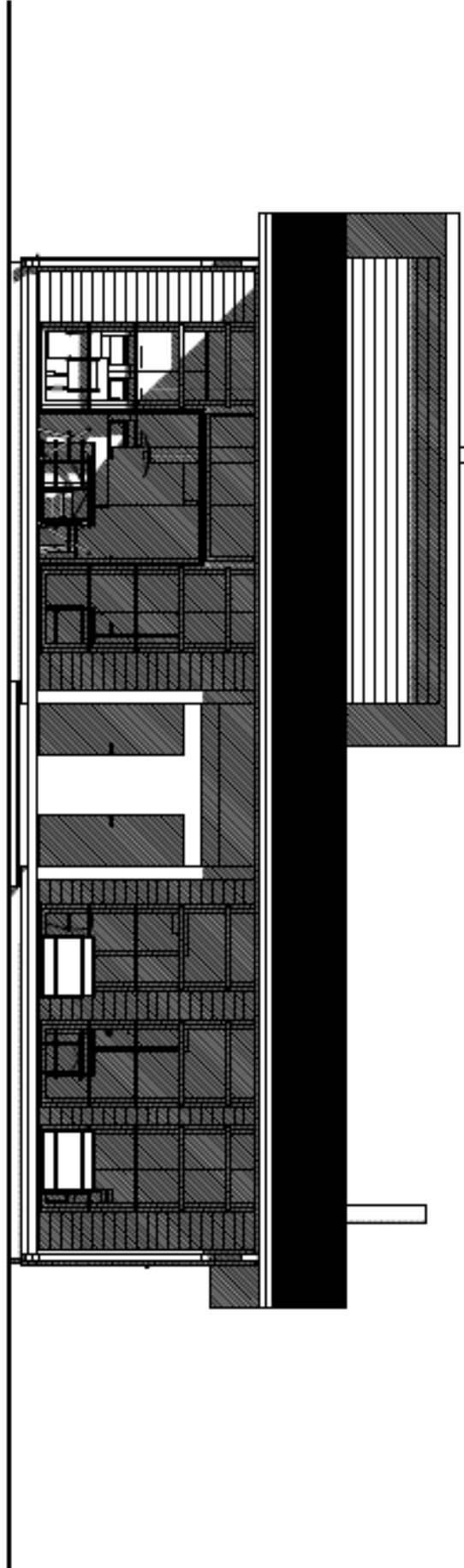
L2

Leikkaus

1:100



Pohja-, julkisivu- ja leikkauskuvia ja mallinäkymiä

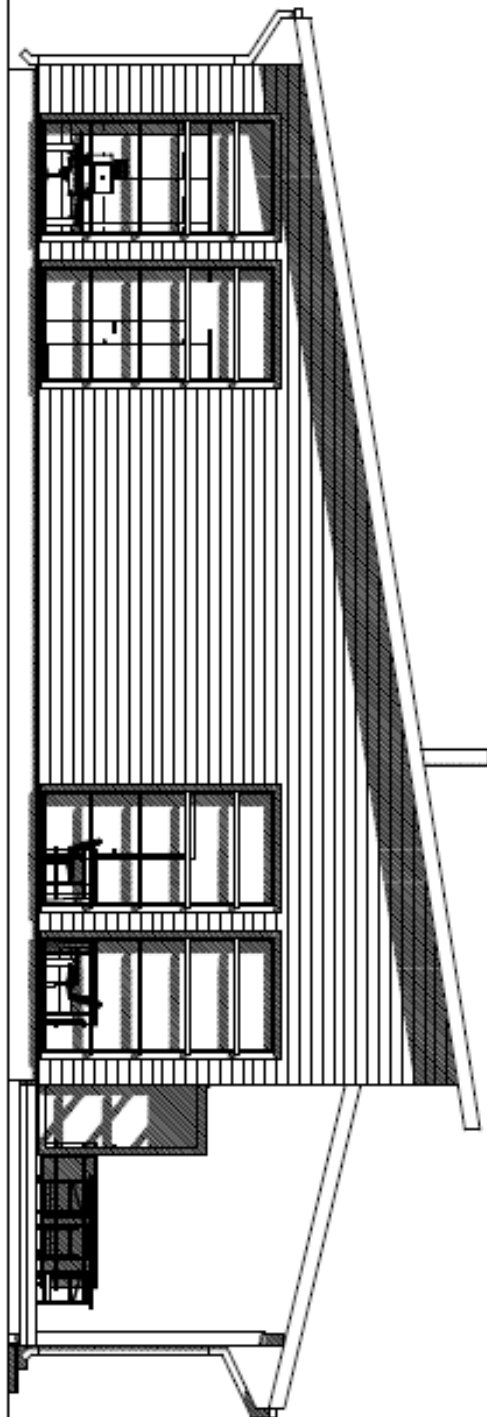


JS1

Julkisivu

1:100

Pohja-, julkisivu- ja leikkauskuvia ja mallinäkymiä

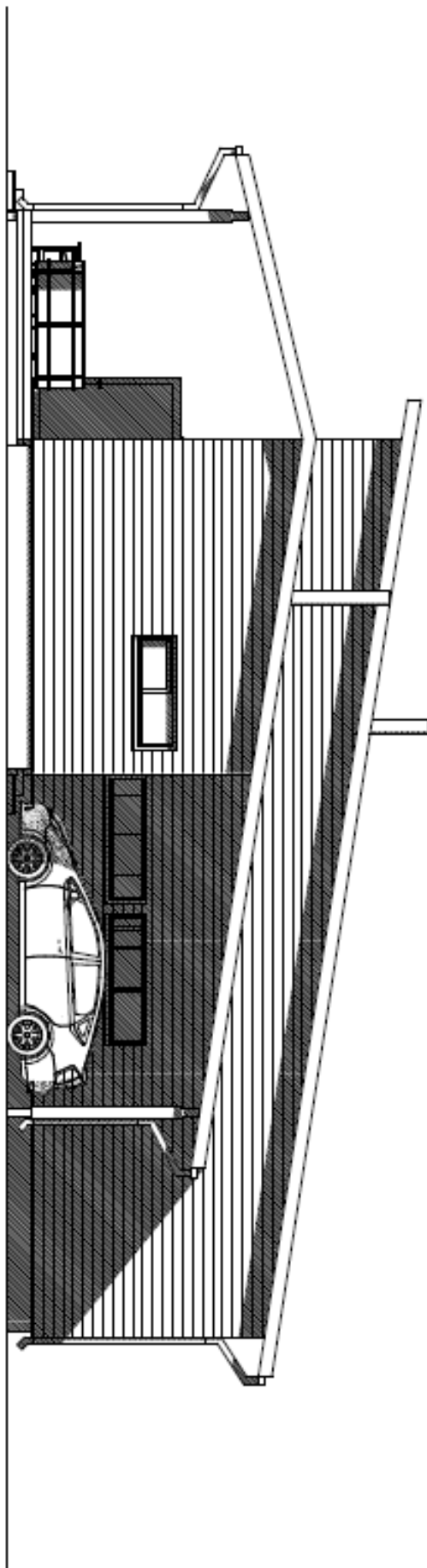


JS2

Julkisivu

1:100

Pohja-, julkisivu- ja leikkauskuvia ja mallinäkymiä



JS4

Julkisivu

1:100

Pohja-, julkisivu- ja leikkauskuvia ja mallinäkymiä



1:108,73

11.9.2015

MAMK Talotekn. Virtuaalitalo
Pääsuunnitelma 3
50100 MIKKELI

Tuuskusko A3 229 R 1

Mallinäkyms 1

ARKKITEHTITOIMISTO HEIKKI KIRJALAINEN OY
Pääsuunnittelija ZIA
www.arkkirajainen.fi
50100 MIKKELI
p.015-61889
E-mail: toimisto@hk.kirjalainen.fi

Pohja-, julkisivu- ja leikkauskuvia ja mallinäkymiä



1:100

11.9.2015

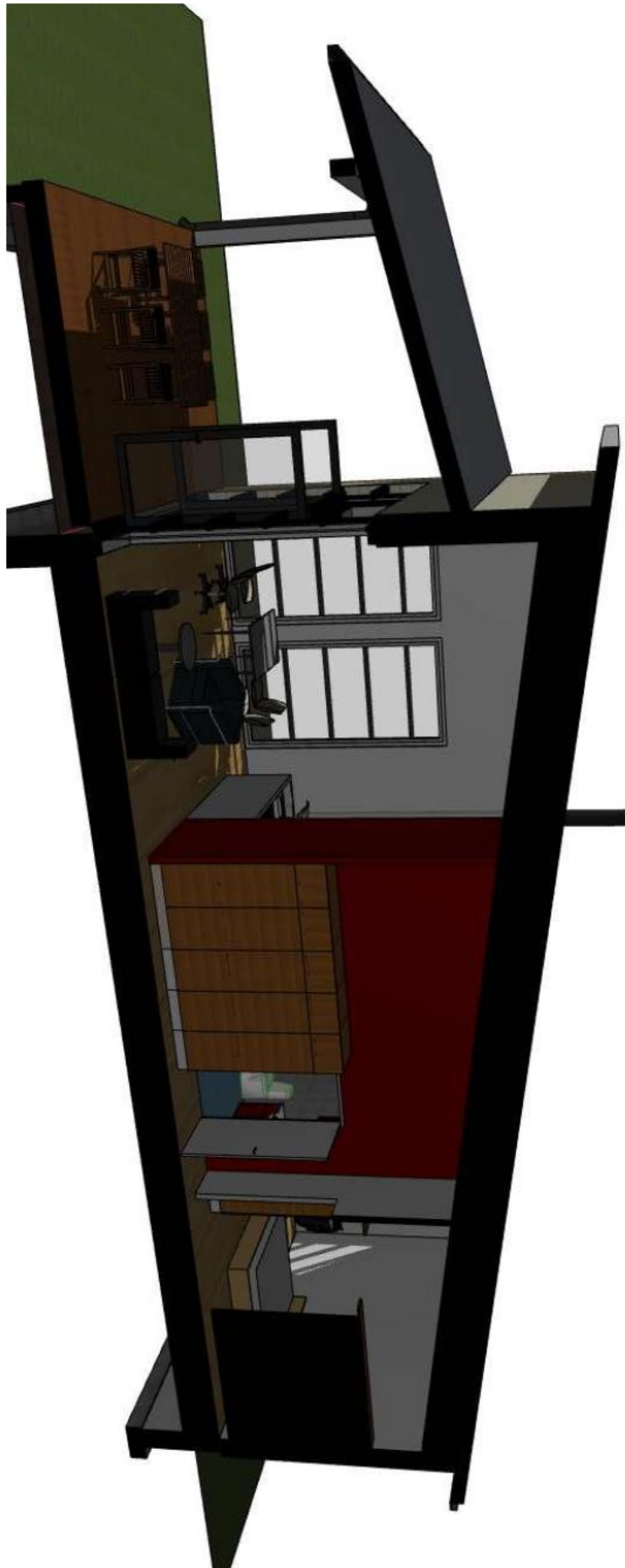
MMK Talotekn. Virtuaalitalo
Pöytäkirja 3
50100 Mikkeli

Tuusula A3
229 R 2

Mallinäkyvä 2

ARKKITEHTITOIMISTO HEIKKI KIRJALAINEN OY
Pöytäkirja 3
www.arkkirjalainen.fi
50100 MIKKELI
p.015-161899
E-mail: toimisto@arkkirjalainen.fi

Pohja-, julkisivu- ja leikkauskuvia ja mallinäkymiä



1:108,97

11.9.2015

MAMK Talotekn. Virtuaalitalo
Pääsuunnitelma 3
50100 Mikkel

Tuotuskohte A3 229 R 3

Mallinäkymä 3

ARKKITEHTITOIMISTO HEIKKI KIRJALAINEN OY
Pääsuunnittelija ZTA
www.arkk-kirjalainen.fi
50100 MIKKELI
P. 015-461889
E-mail: kornio@arkk-kirjalainen.fi

Pohja-, julkisivu- ja leikkauskuvia ja mallinäkymiä



1:122.05

11.9.2015

MAMK Talotekn. Virtuaalitalo
Päämies: M. J. J.
50100 Mäkelä

Talotekn. A3
229 R 4

Mallinäkyminen

ARKKITEHTITOIMISTO HEIKKI KIRJALAINEN OY
Päämies: M. J. J.
50100 Mäkelä
E-mail: kirkko@heikkikirkko.fi

Ulkoseinien, yläpohjan ja alapohjan rakenteet

Ulkoseinä, puurunkoinen	Paksuus (mm)
Kipsilevy	13
Mineraalivilla	50
Polyamidikalvo	0.2
Mineraalivilla	178
Tuulensuojalevy	25
Ilmaväli	22
Puuverhous	22

Yläpohja, puurunkoinen	Paksuus (mm)
Kipsilevy	13
Mineraalivilla	50
Polyamidikalvo	0.2
Mineraalivilla	425
Tuuletettu ilmatila	400
Puu	20
Bitumikermi	10

Alapohja	Paksuus (mm)
Linoleum muovimatto	2.5
Betoni	80
Polystryreeni, paisutettu	100
Polystryreeni, paisutettu	100
Kapillaarinen murske	300